



## TUGAS AKHIR - MO141326

### PERUMUSAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN SAMBUNGAN *TUBULAR MULTIPLANAR DOUBLE KT* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Ibnu Fasyin Fuadi

NRP. 4313 100 009

Pembimbing :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017



**FINAL PROJECT - MO141326**

**FORMULATION OF STRESS CONCENTRATION FACTORS  
FOR MULTIPLANAR TUBULAR DKT-JOINTS USING FINITE  
ELEMENT METHOD**

Ibnu Fasyin Fuadi

NRP. 4313 100 009

Supervisors :

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING**

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 60111

2017

## LEMBAR PENGESAHAN

### **PERUMUSAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN SAMBUNGAN TUBULAR MULTIPLANAR DOUBLE KT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**IBNU FASYIN FUADI**

NRP. 4313 100 009

Disetujui oleh:

1. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing 1)  
.....
2. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)  
.....
3. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc. (Penguji 1)  
.....
4. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. (Penguji 2)  
.....
5. Silvianita, S.T., M. Sc, Ph.D. (Penguji 3)  
.....

**SURABAYA, JULI 2017**

**PERUMUSAN FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN SAMBUNGAN  
TUBULAR MULTIPLANAR DOUBLE KT DENGAN METODE ELEMEN  
HINGGA**

**Nama Mahasiswa : Ibnu Fasyin Fuadi**

**NRP : 4311100009**

**Departemen : Teknik Kelautan**

**Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T, M.T**

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

**ABSTRAK**

Sambungan *tubular* pada anjungan lepas pantai yang terkena beban secara siklik dan adanya diskontinuitas geometri antara *brace* dan *chord* akan menimbulkan tegangan *hotspot*. Perbandingan tegangan *hotspot* dengan tegangan nominal disebut *stress concentration factor* (SCF). Besarnya SCF merupakan komponen penting dalam perhitungan *fatigue* karena tegangan yang terjadi pada sambungan tubular terdistribusi tidak merata. Tugas akhir ini membahas tentang studi parametrik SCF pada sambungan *tubular multi-planar double KT* dengan beberapa variasi parameter yaitu  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$ . Hasil studi parametrik menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\beta$  maka akan semakin kecil SCF yang dihasilkan. Sedangkan semakin besar parameter  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  maka akan semakin besar SCF yang dihasilkan. Dalam tugas akhir ini juga akan dilakukan perumusan SCF pada sambungan *tubular multiplanar double KT* dengan menggunakan permodelan elemen hingga. Hasil perhitungan SCF dengan rumus empiris SCF baru yang dihasilkan memiliki korelasi yang baik dengan SCF hasil analisis dengan menggunakan metode elemen hingga.

**Kata Kunci:** tegangan *hotspot*, faktor konsentrasi tegangan, *multi-planar tubular joint*, studi parametrik, penurunan rumus, metode elemen hingga

***FORMULATION OF STRESS CONCENTRATION FACTORS FOR  
MULTIPLANAR TUBULAR DKT-JOINTS USING FINITE ELEMENT  
METHOD***

**Name of Student** : Ibnu FAsyin Fuadi  
**NRP** : 4311100009  
**Department** : Teknik Kelautan  
**Supervisors** : Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T, M.T  
Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

***ABSTRACT***

Tubular connections on offshore structures which subjected cyclically loaded and the discontinuity of geometry between brace and chord will create a hotspot stress. Comparison of hotspot stress with nominal stress is called stress concentration factor (SCF). The value of SCF is an important component in fatigue calculation because the stress on the tubular joints does not spread evenly. This final project discusses the parametric study of SCF on multi-planar tubular double KT joint with some variation of parameters  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  and  $\theta$ . The results of parametric studies show that the increase of the  $\beta$  leads to decrease of SCF. While the increase of the  $\tau$ ,  $\gamma$  and  $\theta$  leads to increase of SCF. In this final project will be done formulation of SCF on multiplanar tubular double KT joints by using finite element modeling. The result of SCF calculation with SCF proposed empiric formula has good correlation with SCF result of analysis by using finite element method.

**Keywords:** hotspot stress , stress concentration factor, multi-planar tubular joint, study parametric, formula derivation, finite element method.

## KATA PENGANTAR

Assalamu' alaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas semua berkat pertolongan dan rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik mungkin. Ucapan terima kasih sudah sepatutnya diberikan kepada Dr. Eng. Rudi Walujo P, ST., MT., dan Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen pembimbing yang selalu mengarahkan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini berjudul **“Perumusan Faktor Konsentrasi Tegangan Sambungan *Tubular Multiplanar Double KT* Dengan Metode Elemen Hingga”**.

Manusia adalah tempat lupa dan salah, begitupun juga penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini terdapat kemungkinan terjadi kesalahan dan kekurangan. Penulis sudah berusaha untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca semua.

Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna baik bagi penulis maupun pembaca. Atas perhatiannya terimakasih.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 28 Juli 2017

Penulis

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Banyak pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua dan ketiga saudara penulis, yang selalu aktif memberikan dukungan dan mendoakan
2. Dr. Eng. Rudi Walujo P. ST., MT., dan Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan mengarahkan jalannya pengerjaan penelitian ini dengan baik.
3. Staff pengajar Departemen Teknik Kelautan ITS yang berkontribusi menyumbangkan ilmunya sebagai penelitian ini dapat berjalan lancar.
4. Bonar dan Peking sebagai partner diskusi yang senantiasa membantu pemahaman materi dalam penelitian ini.
5. Serta semua pihak yang telah turut membantu terselesaikannya penelitian ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu

Semoga seluruh bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang baik dari Allah SWT dan menjadi bekal di masa depan bagi penulis.

-Penulis-

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
BAB I    PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
1.6 Sistematika Laporan .....	5
BAB II    TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2. Dasar Teori .....	8
2.2.1 Sambungan <i>Tubular</i> .....	8
2.2.2 Sambungan Multi-Bidang .....	10
2.2.2.1 Klasifikasi Sambungan Multi-Bidang .....	10
2.2.2.2 Parameter Geometri pada Sambungan Multi-Bidang.....	10
2.2.3 Desain Sambungan Las .....	12
2.2.4 Pembebanan Dasar .....	12
2.2.5 <i>Hot-Spot Stress</i> .....	13
2.2.6 Tegangan Dasar Pembentuk <i>Hot Spot Stress</i> .....	13
2.2.6.1 Tegangan Primer (Tipe A) .....	14
2.2.6.2 Tegangan Sekunder Tipe B .....	14
2.2.6.3 Tegangan Sekunder Tipe C .....	14
2.2.7 Mencari Tegangan <i>Hot-Spot</i> Menggunakan Ekstrapolasi Linier	15



2.2.8 Faktor Konsentrasi Tegangan (SCF).....	16
2.2.9 Analisis Tegangan dengan Metode Elemen Hingga .....	17
2.2.9.1 Permodelan dengan elemen Solid Tiga dimensi ...	19
2.2.9.2 Meshing .....	19
2.2.10 Perumusan Persamaan Empiris SCF dengan regresi .....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	21
3.1 Skema Diagram Alir.....	21
3.2 Penjelasan Diagram Alir.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1 Permodelan Elemen Hingga .....	31
4.2 Analisis Sensitivitas <i>Meshing</i> ( <i>Meshing Sensitivity</i> ).....	32
4.3 Validasi Tegangan Nominal .....	36
4.4 Distribusi Tegangan di Sekitar Garis Sambungan dengan Variasi Parameter Non-dimensional .....	37
4.4.1 Beban Aksial .....	37
4.4.1.1 Pengaruh Variasi $\beta$ Terhadap Distribusi Tegangan..	39
4.4.1.2 Pengaruh Variasi $\gamma$ Terhadap Distribusi Tegangan...	40
4.4.1.3 Pengaruh Variasi $\tau$ Terhadap Distribusi Tegangan...	41
4.4.1.4 Pengaruh Variasi $\theta$ Terhadap Distribusi Tegangan ...	41
4.4.2 Beban <i>Bending Moment</i> .....	42
4.4.2.1 Pengaruh Variasi $\beta$ Terhadap Distribusi Tegangan..	44
4.4.2.2 Pengaruh Variasi $\gamma$ Terhadap Distribusi Tegangan...	45
4.4.2.3 Pengaruh Variasi $\tau$ Terhadap Distribusi Tegangan...	46
4.4.2.4 Pengaruh Variasi $\theta$ Terhadap Distribusi Tegangan...	46
4.5 Tegangan <i>Hotspot</i> .....	47
4.5.1 Beban Aksial .....	48
4.5.2 Beban <i>Bending Moment</i> .....	50
4.6 Faktor Konsentrasi Tegangan (SCF) .....	52
4.6.1 Faktor Konsentrasi Tegangan Akibat Beban Aksial .....	52
4.6.2 Faktor Konsentrasi Tegangan Akibat <i>Bending Moment</i> ....	54
4.7 Perumusan Persamaan Empiris SCF Sambungan <i>Tubular Multi- planar Double KT</i> .....	56

4.8	Perbandingan SCF Hasil dari Persamaan Empiris dengan SCF Hasil dari Analisis Metode Elemen Hingga .....	59
4.9	Pengaruh Parameter Non-dimensional Terhadap SCF.....	63
4.9.1	Pengaruh Parameter $\beta$ (d/D) Terhadap SCF .....	63
4.9.2	Pengaruh Parameter $\gamma$ (D/2T) Terhadap SCF.....	65
4.9.3	Pengaruh Parameter $\tau$ (t/T) Terhadap SCF.....	66
4.9.4	Pengaruh Parameter $\theta$ Terhadap SCF .....	68
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	70
5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran .....	70
	DAFTAR PUSTAKA .....	72
	LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 a Struktur <i>jacket platform</i> .....	1
Gambar 1.1 b Sambungan <i>tubular</i> .....	1
Gambar 1.1 c Daerah kritis sepanjang lasan .....	1
Gambar 1.2. Metode untuk menentukan hot spot stress .....	2
Gambar 1.3 <i>Jacket Platform</i> yang menggunakan sistem <i>bracing</i> sambungan <i>tubular multiplanar double KT</i> .....	3
Gambar 2.1 Parameter-parameter sambungan tubular.....	9
Gambar 2.2 Sambungan multi-bidang.....	10
Gambar 2.3 Sambungan dengan jenis lasan <i>toe fillet weld</i> .....	12
Gambar 2.4 Mode Pembebanan Pada Sambungan Tubular.....	13
Gambar 2.5 Letak titik kritis <i>Hot Spot</i> pada sambungan <i>tubular</i> .....	14
Gambar 2.6 Titik Ekstrapolasi linier pada <i>tubular joint</i> untuk mencari <i>hot-spot stress</i> .....	16
Gambar 2.7 Konsentrasi tegangan pada sambungan <i>tubular</i> .....	17
Gambar 2.8 Model sambungan <i>tubular</i> dengan metode elemen hingga <i>thin shell</i> ..	18
Gambar 2.9 Sambungan <i>tubular</i> dengan metode elemen hingga <i>solid element</i> ..	18
Gambar 2.10 Macam-macam tipe elemen <i>solid</i> tiga dimensi .....	19
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir .....	21
Gambar 3.2 a <i>Braced Production Jacket Platform</i> .....	23
Gambar 3.2 b <i>Multi-planar Tubular Joint</i> (DKT joint).....	23
Gambar 3.3 Model <i>multi-planar tubular joint double KT</i> .....	27
Gambar 3.4 Ketentuan ukuran ketebalan las mengacu pada AWS D1.1 .....	27
Gambar 3.5 Model Sambungan Las.....	28
Gambar 4.1 Model <i>meshing</i> pada <i>multi-planar tubular joint double KT</i> .....	31
Gambar 4.2 Kondisi batas dan pembebanan pada model .....	32
Gambar 4.3 Letak titik tinjau pada analisis <i>meshing</i> sensitifitas.....	33
Gambar 4.4 Grafik hasil <i>meshing sensitivity</i> akibat beban kombinasi.....	34
Gambar 4.5 Grafik hasil <i>meshing sensitivity</i> akibat gaya aksial.....	35
Gambar 4.6 Grafik hasil <i>meshing sensitivity</i> akibat <i>bending moment</i> .....	36
Gambar 4.7 Lokasi tegangan maksimum pada daerah sambungan <i>brace CVH</i> ...	38
Gambar 4.8 Posisi <i>brace CVH</i> yang akan ditinjau.....	38

Gambar 4.9 Garis sambungan <i>brace</i> CVH yang akan diinvestigasi .....	38
Gambar 4.10 Pengaruh dari parameter $\beta$ terhadap distribusi tegangan.....	39
Gambar 4.11 Pengaruh dari parameter $\gamma$ terhadap distribusi tegangan.....	40
Gambar 4.12 Pengaruh dari parameter $\tau$ terhadap distribusi tegangan.....	41
Gambar 4.13 Pengaruh dari parameter $\theta$ terhadap distribusi tegangan.....	42
Gambar 4.14 Lokasi tegangan maksimum pada daerah sambungan <i>brace</i> CC2..	43
Gambar 4.15 Posisi <i>brace</i> CC2 yang akan ditinjau .....	43
Gambar 4.16 Garis sambungan <i>brace</i> CC2 yang akan diinvestigasi .....	43
Gambar 4.17 Pengaruh dari parameter $\beta$ terhadap distribusi tegangan.....	44
Gambar 4.18 Pengaruh dari parameter $\gamma$ terhadap distribusi tegangan.....	45
Gambar 4.19 Pengaruh dari parameter $\tau$ terhadap distribusi tegangan .....	46
Gambar 4.20 Pengaruh dari parameter $\theta$ terhadap distribusi tegangan.....	47
Gambar 4.21 Pembebanan gaya aksial pada model.....	48
Gambar 4.22 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan gaya aksial...	48
Gambar 4.23 Ekstrapolasi linier pada <i>brace</i> akibat gaya aksial .....	49
Gambar 4.24 Ekstrapolasi linier pada <i>chord</i> akibat gaya aksial .....	49
Gambar 4.25 Pembebanan <i>bending moment</i> pada model .....	50
Gambar 4.26 Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban <i>bending moment</i> .....	50
Gambar 4.27 Ekstrapolasi linier pada <i>brace</i> akibat beban <i>bending moment</i> .....	51
Gambar 4.28 Ekstrapolasi linier pada <i>chord</i> akibat <i>bending moment</i> .....	51
Gambar 4.29 Plot Langkah a .....	57
Gambar 4.30 Plot Langkah b .....	57
Gambar 4.31 Plot Langkah c .....	58
Gambar 4.32 Plot Langkah d .....	58
Gambar 4.33 Perbandingan besarnya SCF hasil dari rumus baru dengan SCF hasil dari analisis elemen hingga .....	63
Gambar 4.34 Pengaruh parameter $\beta$ terhadap SCF .....	64
Gambar 4.35 Pengaruh parameter $\gamma$ terhadap SCF .....	65
Gambar 4.36 Pengaruh parameter $\tau$ terhadap SCF .....	67
Gambar 4.37 Pengaruh parameter $\theta$ terhadap SCF .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi sambungan multi-bidang .....	11
Tabel 3.1	Geometri dan <i>Material Properties</i> sambungan <i>tubular multi-planar double KT</i> .....	23
Tabel 3.2	<i>Moment</i> dan <i>Force</i> pada sambungan tubular <i>multi-planar double KT</i>	24
Tabel 3.3	Variasi parameter dari sambungan <i>tubular multi-planar double KT</i> .	25
Tabel 4.1	<i>Meshing sensitivity</i> akibat beban kombinasi.....	33
Tabel 4.2	<i>Meshing sensitivity</i> akibat gaya aksial.....	34
Tabel 4.3	<i>Meshing sensitivity</i> akibat <i>bending moment</i> .....	35
Tabel 4.4	Validasi Tegangan Nominal .....	37
Tabel 4.5	SCF <i>Brace</i> Akibat Beban Aksial.....	52
Tabel 4.6	SCF <i>Chord</i> Akibat Beban Aksial.....	53
Tabel 4.7	SCF <i>Brace</i> Akibat <i>Bending moment</i> .....	54
Tabel 4.8	SCF <i>Chord</i> Akibat <i>Bending moment</i> .....	55
Tabel 4.9	Pengecekan Rumus SCF Akibat Gaya Aksial .....	59
Tabel 4.10	Pengecekan Rumus SCF Akibat <i>Bending Moment</i> .....	60

## DAFTAR LAMPIRAN

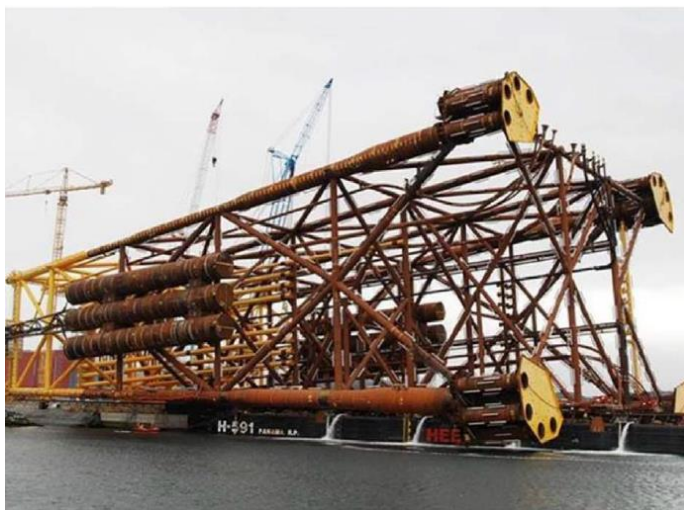
Lampiran A	Data Awal
Lampiran B	Tegangan <i>Hotspot</i>
Lampiran C	Perumusan SCF Baru
Lampiran D	Korelasi Parameter Non-dimensional Terhadap SCF

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

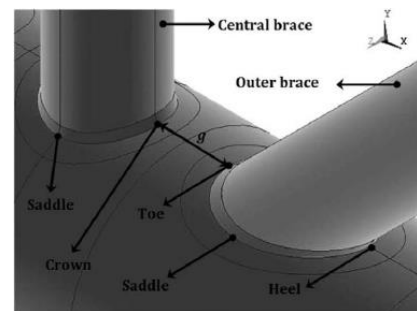
*Jacket platform* merupakan bangunan lepas pantai yang sering digunakan untuk eksploitasi minyak dan gas dari *reservoir hidrokarbon* yang berada di lepas pantai pada daerah perairan dangkal, yang struktur utamanya terdiri dari *tubular member* yang dilas antara *brace* dan *chord* (Ahmadi *et al*, 2015). Sambungan *tubular* yang terkena beban secara siklik dan adanya diskontinuitas geometri antara *brace* dan *chord* menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan pada daerah sambungan (*intersection*) antara *brace* dan *chord* (lihat Gambar 1.1). Tegangan maksimum yang terjadi pada daerah sambungan (*intersection*) atau daerah lasan antara *brace* dan *chord* disebut *hot spot stress*.



(a)



(b)



(c)

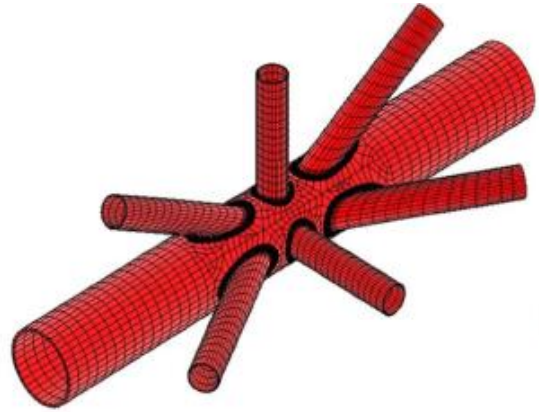
**Gambar 1.1** (a) Struktur *jacket platform*, (b) Sambungan *tubular*, (c) Daerah kritis sepanjang lasan (Ahmadi *et al*, 2016)

Metode yang digunakan untuk menentukan *hot spot stress* pada sambungan *tubular* biasanya dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode elemen hingga (metode numerik) atau dengan metode eksperimen seperti pada

Gambar 1.2 (Pang *et al*, 1995). Setiap metode yang digunakan untuk menentukan *hot spot stress* memiliki kelebihan dan kekurangan.



(a)



(b)

**Gambar 1.2** Metode untuk menentukan *hot spot stress* (a) metode eksperimen, (b) metode elemen hingga (Ahmadi *et al*, 2016)

Lokasi *hot spot stress* yang terjadi pada sambungan *tubular* tidak dapat diprediksi tanpa mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada sambungan *tubular*. Informasi mengenai distribusi tegangan juga sangat dibutuhkan untuk memprediksi lokasi terjadinya *fatigue crack growth* (ahmadi *et al*, 2011). Oleh karena itu, dalam melakukan analisis lokal pada sambungan *tubular* perlu mengetahui distribusi tegangan untuk menentukan besarnya *hot spot stress* pada sambungan *tubular* tersebut. Besarnya *hot spot stress* juga ditentukan oleh besarnya suatu parameter yang disebut dengan faktor konsentrasi tegangan (SCF).

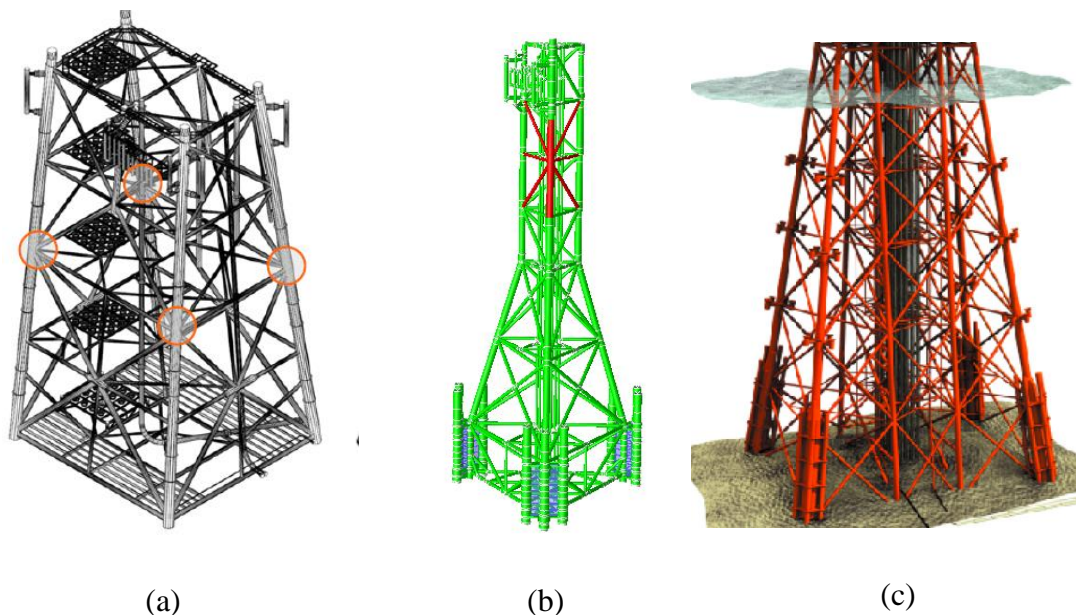
Faktor konsentrasi tegangan (SCF) adalah faktor pengali terhadap tegangan nominal, sehingga dicapai tegangan puncak atau maksimumnya di suatu titik kritis (*hot spot stress*). Besarnya SCF merupakan komponen penting dalam perhitungan *fatigue damage* karena tegangan yang terjadi pada sambungan *tubular* tidak menyebar secara merata (terkonsentrasi pada satu titik). Besarnya SCF bergantung pada geometri sambungan, tipe pembebanan, tipe dan ukuran dari lasan (Karamos *et al*, 2002).

Rumus empirik untuk menentukan atau menghitung besarnya SCF pada sambungan multi-bidang (*multi-planar*) masih sangat jarang jika dibandingkan



dengan *simple joint (uni-planar)*. Saat ini, rumus empirik untuk perhitungan SCF *simple joint (uni-planar)* dengan berbagai geometri (T, Y, K dan KT) dan variasi pembebanan sudah sangat banyak. Padahal rumus parametrik SCF sambungan tubular *uniplanar* tidak dapat langsung digunakan untuk menentukan SCF sambungan tubular *multiplanar* dan fakta dilapangan menunjukkan bahwa sambungan *tubular* yang sering digunakan adalah sambungan *tubular multiplanar*.

Sambungan *tubular multiplanar double KT* merupakan tipe sambungan *tubular multiplanar* yang sering digunakan pada anjungan lepas pantai. *Jacket platform* dengan jumlah kaki tiga, kaki empat bahkan juga kaki delapan, dalam beberapa kasus ada yang menggunakan sistem *bracing* sambungan *tubular multiplanar double KT* (lihat Gambar 1.3). Oleh karena itu, sangat penting melakukan penelitian mengenai konsentrasi tegangan pada sambungan *tubular multiplanar double KT*.



**Gambar 1.3** *Jacket Platform* yang menggunakan sistem *bracing* sambungan *tubular multiplanar double KT* (a) kaki empat (Ahmadi *et al*, 2011), (b) kaki tiga, (c) kaki delapan

Penelitian mengenai perumusan SCF pada sambungan *tubular multiplanar* pernah dilakukan oleh (Chiew *et al*, 2000) untuk *steel multiplanar tubular XX-joints*. Karamos *et al* (2002) menurunkan rumus SCF pada sambungan

*multiplanar* DT-joint akibat beban *bending*. Penelitian juga dilakukan oleh (Wingerde *et al*, 2001) merumuskan formula SCF untuk sambungan *tubular uniplanar* K dan *multiplanar* KK. Karena masih sedikit penelitian mengenai perumusan SCF sambungan *tubular multiplanar*, maka dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan perumusan SCF pada sambungan *tubular multiplanar double KT* dengan menggunakan pemodelan elemen hingga. Rumus SCF baru dihasilkan dengan menggunakan regresi berdasarkan data geometris sambungan *tubular* utama (*chord*) dan *tubular* sekunder (*brace*), yaitu diameter luar dari *chord* (D), diameter luar dari *brace* (d), ketebalan *chord* (T), ketebalan *brace* (t) dan panjang *chord* (L) dengan mengacu pada rasio perbandingan geometris yang digunakan untuk persamaan parametrik.

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana distribusi tegangan di sekitar garis sambungan (*intersection*) pada sambungan *tubular multi-planar* tipe DKT dengan variasi parameter *non-dimensional*  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  akibat beban aksial dan beban *bending moment*?
2. Bagaimana besarnya *stress concentration factor* pada sambungan *tubular multi-planar* tipe DKT dengan variasi parameter *non-dimensional*  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  akibat beban aksial dan beban *bending moment*?
3. Bagaimana rumus SCF pada sambungan *tubular multi-planar* tipe DKT akibat beban aksial dan beban *bending moment*?

## 1.3. Tujuan

Dari perumusan masalah diatas, dapat diambil tujuan yang ingin dicapai yaitu:

1. Mengetahui distribusi tegangan di sekitar garis sambungan (*intersection*) pada sambungan *tubular multi-planar* tipe DKT dengan variasi parameter *non-dimensional*  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  akibat beban aksial dan beban *bending moment*

2. Mengetahui besarnya *stress concentration factor* pada sambungan *tubular multi-planar* tipe DKT dengan variasi parameter *non-dimensional*  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  akibat beban aksial dan beban *bending moment*
3. Mengetahui dan mendapatkan rumus SCF pada sambungan *tubular multi-planar* tipe DKT akibat beban aksial dan beban *bending moment*

#### 1.4. Manfaat

Hasil analisis dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui nilai-nilai SCF dari beberapa variasi parameter *non-dimensional* yang dilakukan dan mendapatkan rumus SCF pada sambungan *tubular multi-planar* tipe DKT akibat beban aksial dan beban *bending moment*.

#### 1.5. Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini batasan masalah dan asumsi yang digunakan antara lain:

1. Analisis dilakukan pada sambungan *tubular multi-planar* tipe DKT
2. Pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan lokal dengan metode elemen hingga
3. Parameter *non-dimensional* yang divariasikan adalah  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$
4. Beban yang digunakan pada struktur adalah beban aksial dan beban *bending moment*
5. *Support* yang digunakan dalam pemodelan lokal menggunakan *Fixed Support* di kedua ujung *chord*
6. Penentuan persamaan SCF dengan menggunakan Regresi
7. Sudut antara *brace* pada dua bidang yang berbeda besarnya  $60^\circ$

#### 1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

## BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang Tugas Akhir yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai, manfaat dari penelitian, batasan-batasan masalah serta sistematika penulisan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini mencakup tinjauan pustaka berupa penelitian-penelitian yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini, serta dasar-dasar teori yang akan digunakan.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir, data-data yang akan digunakan, serta pemodelan dan perhitungan yang akan dilakukan.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil analisis, baik pemodelan maupun perhitungan dalam pengerjaan Tugas Akhir.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan hasil akhir dari analisis yang telah dilakukan sesuai perumusan masalah, serta saran yang dapat digunakan untuk menyempurnakan penelitian-penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Sambungan *tubular* pada *jacket platform* yang terkena beban dari berat struktur sendiri maupun pengaruh dari lingkungan dan adanya diskontinuitas antara *brace* dan *chord* menyebabkan pemusatan tegangan pada garis sambungan antara *brace* dan *chord* (*intersection line*). Pada titik-titik tertentu sepanjang daerah sambungan tersebut akan terjadi suatu tegangan yang besarnya beberapa kali lebih besar daripada tegangan nominal. Lokasi atau titik-titik dimana terjadi tegangan terbesar disebut *hot-spots*, dan tegangan maksimum yang terjadi pada daerah tersebut disebut *hot-spot stress*.

Perbandingan antara tegangan maksimum pada sambungan dengan tegangan nominal disebut *stress concentration factor (SCF)*. Besarnya SCF bergantung pada bentuk geometri sambungan, tipe pembebanan yang mengenai struktur, tipe dan ukuran dari lasan (Karamos *et al*, 2002). Penentuan atau perhitungan SCF sangat diperlukan karena tegangan yang terjadi pada sambungan tubular tidak menyebar secara merata, sehingga SCF mempunyai peranan yang penting dalam memprediksi lokasi kemungkinan terjadinya *fatigue crack growth* (ahmadi *et al*, 2011).

Sambungan *tubular multi-planar* merupakan tipe sambungan yang sering digunakan pada *jacket platform*. Sambungan *tubular multi-planar* merupakan sambungan tubular kompleks yang memiliki lebih dari satu bidang. Pada sambungan *tubular multi-planar* terdapat banyak *brace* yang letak *brace-braceny* berada pada bidang yang berbeda. Sambungan *tubular multi-planar* berperan penting dalam analisis *stress* pada *tubular joint spasial* pada *platform lepas pantai*. Tegangan maksimum pada sambungan *tubular multi-planar* mungkin bisa lebih besar atau lebih kecil daripada sambungan *uni-planar*. Oleh karena itu, rumus parametrik SCF sambungan *tubular uni-planar* tidak dapat langsung digunakan untuk menentukan SCF sambungan *tubular multi-planar*.

Persamaan SCF untuk sambungan *tubular multi-planar* diusulkan oleh Marshall dan Luyties, yang memperkenalkan perhitungan parameter alfa “ $\alpha$ ” dalam hal ini disebut fungsi pengaruh, pada penelitian ini hanya dikenai beban aksial saja dan mengabaikan *multiplanar bending* (Marshall dan Luyties, 1982). Dengan demikian, SCF karena *bending* dihitung sesuai dengan persamaan *uni-planar*, yang mengabaikan efek *multi-planar*.

Penelitian pernah dilakukan oleh (Chiew *et al*, 2000) dengan melakukan eksperimen terhadap *steel multiplanar tubular XX-joints* yang dikenai beban aksial, *in-plane bending* dan *out-of-plane bending* dengan jumlah *load cases* sebanyak lima *load cases* yang berbeda. Dari penelitian yang dilakukan oleh (Chiew *et al*, 2000) didapatkan persamaan SCF untuk *steel multiplanar tubular XX-joints* yang dikenai beban aksial, *in-plane bending* dan *out-of-plane bending*. Selain itu, penelitian lain juga dilakukan oleh Karamanos *et al*, yang mampu menyajikan persamaan SCF untuk kasus *multi-planar DT-Joints* dengan memperhatikan pengaruh momen *bending* pada *brace* dan *chord* (Karamanos *et al*, 2002).

Woghiren dan Brennan (2009) meneliti konsentrasi tegangan pada sambungan *tubular multi-planar* tipe KK atau DK yang diperkuat dengan *rack-plate* dengan menggunakan metode elemen hingga dan menghasilkan persamaan parametrik. Pada penelitian yang dilakukan oleh Woghiren dan Brennan (2009), menunjukkan hasil bahwa dengan memberikan *rack-plate* pada sambungan *tubular* mampu menurunkan nilai SCF pada garis sambungan antara *brace* dan *chord* (*intersection line*).

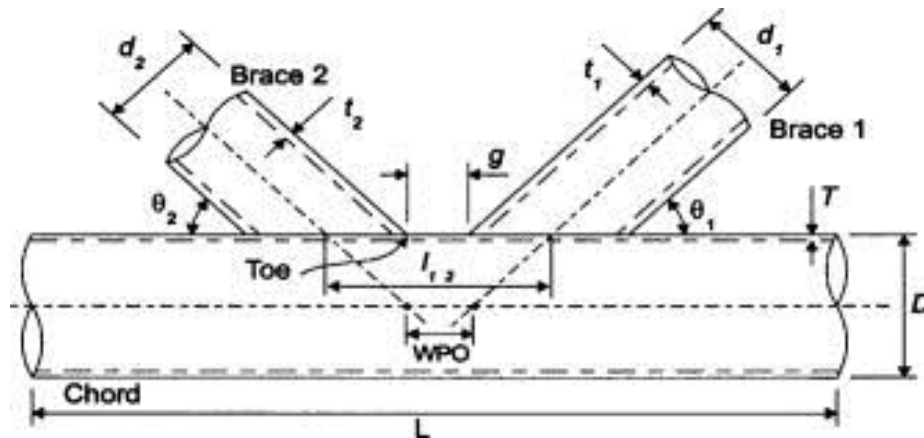
## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1 Sambungan Tubular**

Sambungan *tubular* merupakan bagian dari *bracing jacket platform* dengan bagian utama disebut *chord* dan bagian cabang disebut *brace*, keduanya dihubungkan dengan sambungan yang dikenal dengan *tubular joint*. Sambungan *tubular* pada *jacket platform* yang terkena beban dari berat struktur sendiri maupun pengaruh dari lingkungan dan adanya diskontinuitas antara *brace* dan

*chord* menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada garis sambungan antara *brace* dan *chord* (*intersection line*).

Dalam menentukan konsentrasi tegangan pada sambungan tubular, perlu diketahui parameter-parameter yang mempengaruhi besar atau kecilnya konsentrasi tegangan. Parameter pada sambungan *tubular* meliputi dua parameter, yaitu parameter utama dan parameter turunan (parameter non-dimensional). Parameter utama meliputi; panjang *chord* (L), diameter *chord* (D), ketebalan *chord* (T), diameter *brace* (d), ketebalan *brace* (t), jarak antar *brace* (gap) (g), sedangkan parameter turunan (parameter non-dimensional) meliputi parameter alpha ( $\alpha$ ), parameter beta ( $\beta$ ), parameter gamma ( $\gamma$ ), parameter tau ( $\tau$ ). Gambar 2.1 Menunjukkan parameter-parameter sambungan *tubular*.



**Gambar 2.1** Parameter-parameter sambungan tubular

Parameter non-dimensional sambungan :

$$\alpha = 2L/D \quad (2.1)$$

$$\tau = t/T \quad (2.2)$$

$$\beta = d/D \quad (2.3)$$

$$\zeta = g/D \quad (2.4)$$

$$\gamma = D/2T \quad (2.5)$$

Dengan :

L = panjang *chord*

D = diameter *chord*

$T$  = tebal dinding *chord*

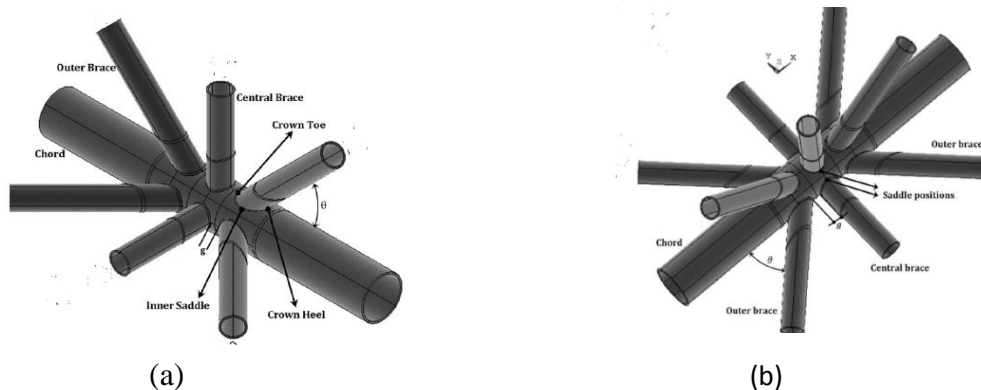
$d$  = diameter *brace*

$t$  = tebal dinding *brace*

$\theta$  = sudut antara *brace* dengan *chord*

### 2.2.2 Sambungan Multi-Bidang

Sambungan *tubular multi-planar* merupakan tipe sambungan yang sering digunakan pada *jacket platform*. *Multiplanar joint* adalah *tubular joint* yang memiliki lebih dari satu bidang, dan letak-letak *bracenya* di bidang yang berbeda (lihat Gambar 2.2). *Multiplanar joint* berperan penting dalam analisis tegangan pada *tubular joint spasial* pada *platform* lepas pantai. Tegangan maksimum pada sambungan *tubular multiplanar* mungkin bisa lebih besar atau lebih kecil daripada sambungan *tubular uniplanar*. Oleh karena itu rumus parametrik sambungan *tubular uniplanar* tidak dapat langsung digunakan untuk sambungan *tubular multiplanar*. Perbedaan parameter geometri dan mode pembebanan yang berbeda sangat penting dalam analisis tegangan untuk desain kelelahan sambungan *multiplanar tubular*.



**Gambar 2.2** Sambungan multi-bidang (a) dua bidang (Lotfollahiyaghin *et al*, 2011) (b) tiga bidang (Ahmadi *et al*, 2016)

#### 2.2.2.1 Klasifikasi Sambungan Multi-Bidang

Sambungan *tubular multi-planar* terbebtuk dari dua atau lebih sambungan *uniplanar*. Variasi dari sambungan *tubular multi-planar* sangat bermacam-macam, seiring dengan berkembang bentuk geometri dari sambungan *uniplanar*.



Berikut ini klasifikasi dari sambungan *tubular multi-planar* yang dibentuk dari dua sambungan *uniplanar*.

**Tabel 2.1** Klasifikasi sambungan multi-bidang

<b>I \ II</b>	<b>K</b>	<b>KT</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>Y</b>	<b>DT</b>	<b>X</b>
<b>K</b>	<b>K-K</b>	<b>K-KT</b>	<b>K-N</b>	<b>K-T</b>	<b>K-Y</b>	<b>K-DT</b>	<b>K-X</b>
<b>KT</b>	<b>KT-K</b>	<b>KT-KT</b>	<b>KT-N</b>	<b>KT-T</b>	<b>KT-Y</b>	<b>KT-DT</b>	<b>KT-X</b>
<b>N</b>	<b>N-K</b>	<b>N-KT</b>	<b>N-N</b>	<b>N-T</b>	<b>N-Y</b>	<b>N-DT</b>	<b>N-X</b>
<b>T</b>	<b>T-K</b>	<b>T-KT</b>	<b>T-N</b>	<b>T-T</b>	<b>T-Y</b>	<b>T-DT</b>	<b>T-X</b>
<b>Y</b>	<b>Y-K</b>	<b>Y-KT</b>	<b>Y-N</b>	<b>Y-T</b>	<b>Y-Y</b>	<b>Y-DT</b>	<b>Y-X</b>
<b>DT</b>	<b>DT-K</b>	<b>DT-KT</b>	<b>DT-N</b>	<b>DT-T</b>	<b>DT-Y</b>	<b>DT-DT</b>	<b>DT-X</b>
<b>X</b>	<b>X-K</b>	<b>X-KT</b>	<b>X-N</b>	<b>X-T</b>	<b>X-Y</b>	<b>X-DT</b>	<b>X-X</b>

#### 2.2.2.2 Parameter Geometri pada Sambungan Multi-Bidang

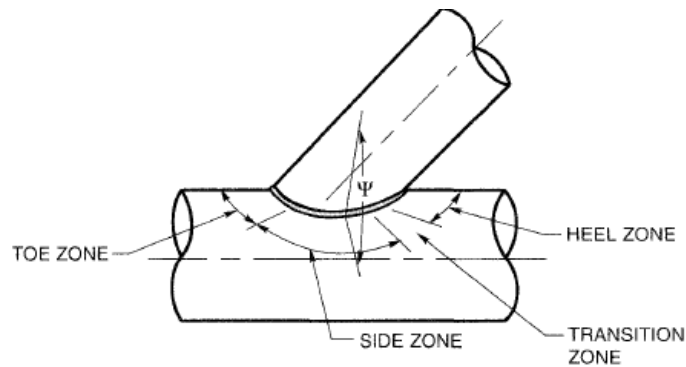
Parameter geometri yang digunakan untuk analisis tegangan pada sambungan *tubular multiplanar*.

1. Parameter Beta adalah rasio antara radius atau diameter dari brace dan chord. Pengaruh parameter ini serupa dengan perbedaan antara beban terkonsentrasi di tengah bentangan dan beban terdistribusi dalam desain balok, sehingga parameter beta merupakan parameter yang sangat penting yang berhubungan dengan ovalisasi dari *chord*. Parameter ini mempengaruhi juga terhadap distribusi tegangan.
2. Parameter Tau adalah ketebalan dari *brace* dibagi dengan ketebalan dari *chord*. Parameter ini dianggap penting dalam memahami efisiensi dari sambungan *tubular*, sehingga parameter ini digunakan dalam definisi *punching shear*. Bertambahnya nilai tau berbanding lurus dengan harga SCF. Parameter ini juga mempengaruhi kekakuan bending relatif dari *chord* dan *brace*, namun yang utama adalah berpengaruh atas tegangan bending dalam *brace* pada daerah sambungan.
3. Parameter Gamma adalah rasio antara radius atau diameter terhadap ketebalan *chord*. Nilai gamma yang besar menunjukkan *chord* yang lebih

fleksibel dan lunak. Gamma muncul dalam persamaan kompatibilitas untuk *shell* silindris. Nilai SCF akan bertambah seiring dengan bertambahnya nilai gamma.

### 2.2.3 Desain Sambungan Las

Perpotongan antara dua hingga lebih dari *tubular joint* membentuk suatu sambungan, dimana konsentrasi tegangan terjadi didekat/berada disambungan tersebut. Sambungan tersebut disambung dengan teknik pengelasan. Biasanya antar *tubular joint* disambung dengan jenis sambungan *fillet joint* dan jenis lasan *toe fillet weld*. Dimana *toe fillet weld* dapat menyambungkan dua *tubular joint* yang akan dilas. Gambar 2.3 menunjukkan jenis lasan *toe fillet weld* pada sambungan *tubular*.



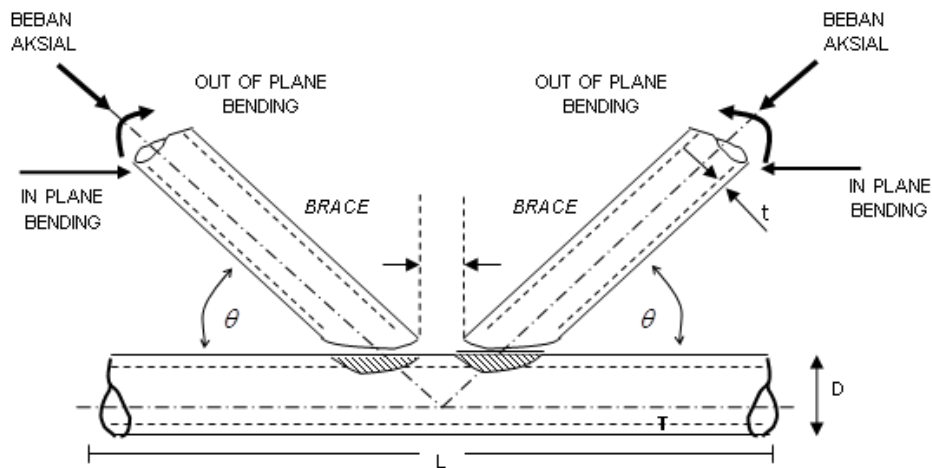
**Gambar 2.3** Sambungan dengan jenis lasan *toe fillet weld*

### 2.2.4 Pembebanan Dasar

Dalam penentuan nilai SCF pembebanan sangat berpengaruh termasuk pembebanan dasar pada *tubular joint* yaitu:

1. Beban aksial, beban yang bekerja pada sumbu o-x (searah dengan sumbu *brace*)
2. Beban *in-plane bending*, beban momen yang bekerja pada bidang x-z (searah sumbu *chord*)
3. Beban *out-of plane bending* beban momen yang bekerja pada bidang x-y (tegak lurus dengan sumbu *chord*)

Mode pembebanan yang terjadi pada sambungan *tubular* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Mode pembebanan pada sambungan *tubular*

### 2.2.5 Hot-Spot Stress

*Hot-spot stress* adalah tegangan maksimum pada sambungan *tubular* yang besarnya beberapa kali lebih besar dari tegangan nominal. *Hot-spot stress* umumnya terjadi pada suatu struktur yang mengalami diskontinuitas geometri. *Hot-spot stress* merupakan tegangan maksimum dari tegangan yang terdistribusi sepanjang garis lasan, di mana inisial kelelahan retak biasanya mulai dari daerah ini.

Untuk mengetahui besarnya *hot-spot stress* dengan pendekatan metode elemen hingga, perlu dilakukan ekstrapolasi linier dari tegangan yang berada pada daerah sambungan. Ada banyak sekali referensi yang memberikan prosedur untuk menentukan letak titik ekstrapolasi linier yang digunakan untuk menentukan besarnya *hot-spot stress*. Pada tugas akhir ini penulis mengacu pada DNVGL-RP-C203 untuk menentukan letak titik ekstrapolasi linier dalam menentukan besarnya *hot-spot stress*.

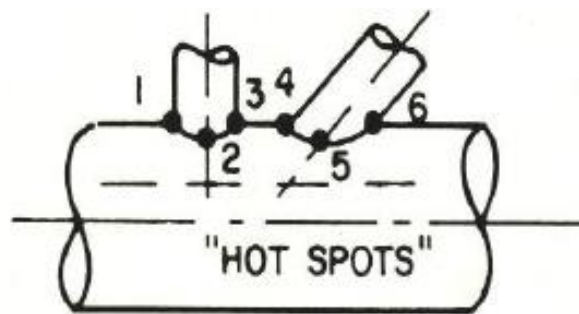
### 2.2.6 Tegangan Dasar Pembentuk *Hot Spot Stress*

Tiga jenis tegangan dasar yang berkontribusi pada terbentuknya *hot spot stress* pada suatu sambungan tubular adalah :

- Tegangan Primer (Tipe A)
- Tegangan Sekunder Tipe B
- Tegangan Sekunder Tipe C

### 2.2.6.1 Tegangan Primer (Tipe A)

Tegangan primer (tipe A) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh kombinasi dari gaya-gaya aksial dan momen-momen yang bekerja pada *jacket*. Tegangan primer (tipe A) maksimum terjadi di suatu lokasi pada sambungan yang disebut *hot spot stress*. Tegangan pada lokasi *hot spot* 1, 3, 4 dan 6 (lihat Gambar 2.5) disebabkan oleh *axial force* dan *in-plane bending moment* (IPB) yang bekerja pada *brace-braceny*. Sementara itu, tegangan di sekitar *hot spot* 2 dan 5 terutama diakibatkan oleh *axial force* dan *out-of plane bending moment* (OPB) yang bekerja pada *brace-braceny*.



**Gambar 2.5** Letak titik kritis *Hot Spot* pada sambungan *tubular*

### 2.2.6.2 Tegangan Sekunder Tipe B

Tegangan sekunder tipe B adalah tegangan yang ditimbulkan karena akibat kondisi detail struktur dari sambungan tersebut, yaitu ; geometri sambungan yang buruk, perakitan yang buruk, kekuatan lokal sambungan yang bervariasi akibat penguatan yang terlalu kaku, penahanan-penahanan *brace* akibat pengelasan melingkar, dan lain-lain. Tegangan sekunder tipe B sifatnya cenderung akan memperbesar tegangan-tegangan primernya (tipe A).

### 2.2.6.3 Tegangan Sekunder Tipe C

Tegangan sekunder tipe C adalah tegangan yang disebabkan oleh faktor metalurgis akibat dari kesalahan pengelasan, misalnya ; penetrasi las yang kurang, *undercut*, *heavy beading*, porositas las, laju pendinginan yang bervariasi, dan lain-lain. Karena faktor metalurgis sangat berpengaruh besar terhadap tegangan-tegangan *hot spot*, maka kualifikasi pengelas menjadi sangat penting untuk menjamin hasil las-lasan yang berkualitas tinggi yang konsisten. Tegangan

sekunder tipe C sangat dominan terjadi di titik-titik *crown* dari *hot spot* (No. 1, 3, 4 dan 6) (lihat Gambar 2.5)

### 2.2.7 Mencari Tegangan *Hot-Spot* Menggunakan Ekstrapolasi Linier

Besarnya tegangan *hot-spot* dapat ditentukan dengan menggunakan metode ekstrapolasi linier. Metode ekstrapolasi linier dilakukan dengan membuat dua titik yang membentuk suatu daerah yang akan di ekstrapolasi linier tegangan. Tegangan yang digunakan dalam ekstrapolasi linier untuk menentukan besarnya tegangan *hotspot* adalah *maximum principal stress*. Ada banyak sekali penelitian dalam menentukan jarak dua titik yang akan diekstrapolasi linier. Pada tugas akhir ini, untuk menentukan jarak dua titik ekstrapolasi linier yang digunakan mengacu pada DNVGL-RP-C203 (lihat Gambar 2.6). Pada DNVGL-RP-C203 jarak dari dua titik ekstrapolasi linier dibedakan untuk kasus pada *brace* dan *chord*. Pada *chord* jarak titik ekstrapolasi juga dibedakan pada posisi *crown* dan *saddle*.

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *brace* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t} \quad (2.6)$$

$$b = 0,65 \sqrt{r t} \quad (2.7)$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *crown* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t} \quad (2.8)$$

$$b = 0,4 \sqrt[4]{r t R T} \quad (2.9)$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *saddle* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t} \quad (2.10)$$

$$b = 2 \pi R \frac{5}{360} = \frac{\pi R}{36} \quad (2.11)$$

Dengan:

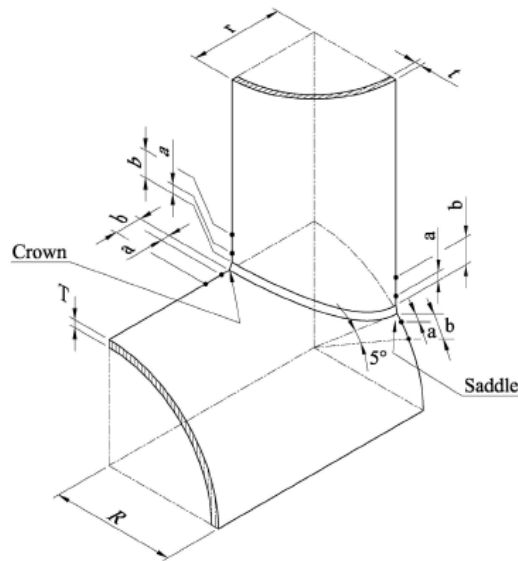
$r$  = jari-jari *brace*

$t$  = ketebalan *brace*

$R$  = jari-jari *chord*

$T$  = ketebalan *chord*

Berikut gambar daerah ekstrapolasi linier pada sambungan tubular sesuai dengan DNVGL-RP-C203:



**Gambar 2.6** Titik Ekstrapolasi linier pada *tubular joint* untuk mencari *hot-spot stress* (DNVGL-RP-C203, 2016)

### 2.2.8 Faktor Konsentrasi Tegangan (SCF)

Faktor konsentrasi tegangan adalah faktor pengali terhadap tegangan nominal, sehingga dicapai tegangan puncak atau maksimumnya di suatu titik kritis (*hot spot stress*).

$$HSS = SCF \times NS \quad (2.12)$$

Dengan :

$HSS = \text{Hot Spot Stress}$

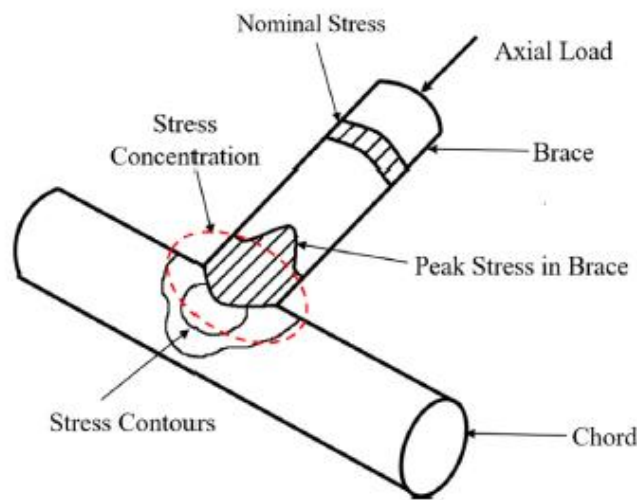
$SCF = \text{Stress Concentration Factor}$

$NS = \text{Nominal Stress}$

Faktor pemusatan tegangan (SCF) besarnya akan berbeda-beda untuk setiap jenis geometri sambungan. Faktor pemusatan tegangan menjadi indikasi atau menjadi ukuran kekuatan sambungan, khususnya kekuatan lelah dari sambungan *tubular*. Oleh karena itu, akurasi perhitungan SCF untuk setiap geometri sambungan yang berbeda menjadi sangat penting, karena dalam desain sambungan *tubular* pada struktur lepas pantai diinginkan umur lelah yang lama.

SCF digunakan untuk menggambarkan perbandingan antara tegangan sembarang titik di interseksi dengan tegangan nominal pada *brace*  $SCF_c$  dan  $SCF_b$  masing-masing juga merupakan fungsi dari tegangan nominal *brace*. Beberapa pendekatan empirik untuk menentukan besaran SCF pada *brace* dan *chord* telah dilakukan. Pada tugas akhir ini validasi *range* parameter SCF pada *multiplanar tubular joint double KT* akan divalidasikan dengan *range* parameter SCF Eftymou pada simple KT joint. Parameter SCF Eftymou simple KT joint:

$$\beta = 0.2 - 1, \tau = 0.2 - 1, \gamma = 8 - 32, \theta = 20-90 \text{ derajat}$$



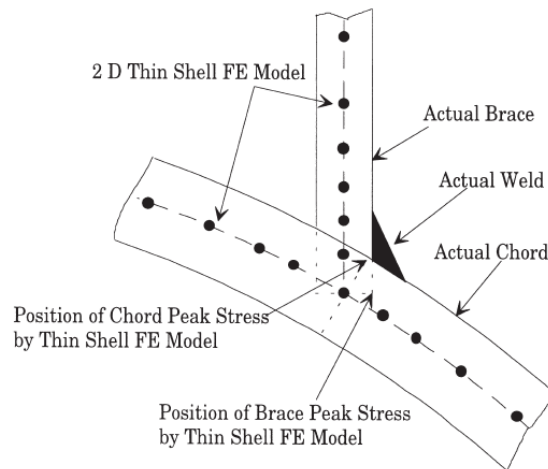
**Gambar 2.7** Konsentrasi tegangan pada sambungan *tubular* (Saini *et al*, 2016)

### 2.2.9 Analisis Tegangan dengan Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu metode numerik untuk menyelesaikan masalah-masalah teknik, termasuk untuk menyelesaikan masalah analisis struktur. Untuk permasalahan struktur dengan geometri yang sangat kompleks, dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga. Pada sambungan tubular dari suatu *jacket platform* terkadang memiliki geometri yang sangat kompleks, sehingga metode elemen hingga adalah metode numerik yang akurat untuk menyelesaikan masalah terkait dengan sambungan *tubular* pada *jacket platform*.

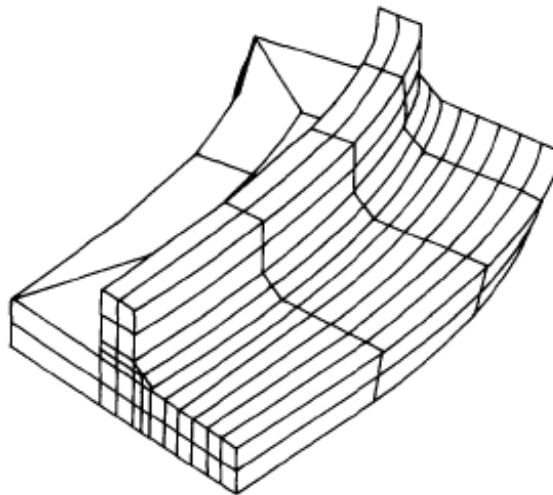
Analisis pada sambungan *tubular* dengan metode elemen hingga digunakan untuk menentukan distribusi tegangan dan tegangan *hot spot stress* (HSS). Masa awal perkembangan metode elemen hingga pada sambungan

*tubular*, struktur sambungan *tubular* dimodelkan dengan elemen cangkang tipis (*thin shell element*) dua dimensi seperti pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Model sambungan *tubular* dengan metode elemen hingga *thin shell*  
(Chang *et al*, 1999)

Perkembangan metode elemen hingga saat ini dapat memodelkan sambungan *tubular* dengan elemen cangkang tebal (*thick shell element*), elemen solid tiga dimensi dan bisa memodelkan las-lasan seperti pada Gambar 2.9. Selain itu, perkembangan teknologi komputer dan *software-software* berbasis metode elemen hingga memungkinkan untuk meningkatkan efisiensi dalam penyelesaian persamaan dengan memerlukan *CPU-time* yang lebih kecil dan waktu *running* yang cepat.



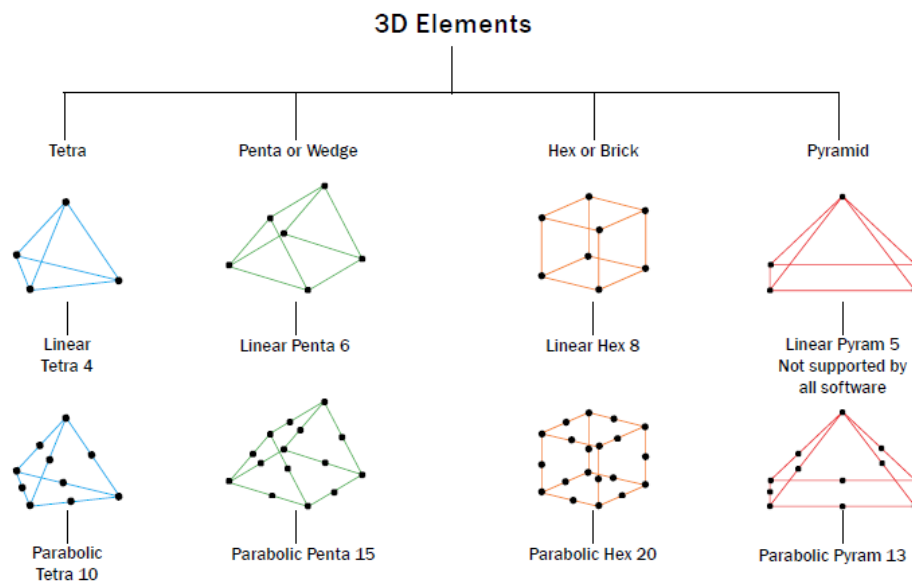
**Gambar 2.9** Sambungan *tubular* dengan metode elemen hingga *solid element*  
(Pang *et al*, 1995)



Dalam melakukan perhitungan untuk mencari tegangan *hot-spot* dengan metode elemen hingga, diperlukan untuk memodelkan model elemen hingga tersebut.

### 2.2.9.1 Pemodelan dengan Elemen Solid Tiga Dimensi

Elemen *solid* tiga dimensi sangat bervariasi macam-macamnya. Pada dasarnya ada empat macam element solid tiga dimensi (lihat Gambar 2.10), yaitu tetrahedron dengan empat titik, penta (*wedge*) dengan enam titik, hexahedron (*brick*) dengan delapan titik dan piramid dengan lima titik. Untuk menambah keakuratan dalam analisis tegangan maka dapat ditambah titik ditengah-tengah antara dua titik.



**Gambar 2.10** Macam-macam tipe elemen *solid* tiga dimensi

### 2.2.9.2 Meshing

*Mesh generation* merupakan informasi titik nodal koordinat, jumlah titik nodal, dan titik tegangan yang ada untuk semua elemen yang akan dipakai untuk analisis lokal. Ukuran elemen *mesh* yang lebih besar pada lokasi *hot-spot* akan mendapatkan hasil yang tidak konservatif. Oleh karena itu, elemen *meshing* pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord* dibuat lebih kecil dan untuk daerah yang jauh dari tinjauan pengamatan elemen *meshing*-nya bisa dibuat agak besar. Selain itu, perlu juga dilakukan *meshing sensitivity*. *Meshing sensitivity* adalah

pengecekan yang dilakukan untuk mendapatkan jumlah dan ukuran elemen *meshing* sehingga didapatkan hasil tegangan yang konstan.

### 2.2.10 Perumusan Persamaan SCF dengan Regresi

Apabila diasumsikan bahwa variasi dari SCF dengan parameter geometrik dalam bentuk pangkat dari masing-masing parameter tersebut, maka plot dari SCF dengan parameter tertentu dalam skala logaritma akan dapat digunakan dalam menghasilkan persamaan SCF.

Langkah-langkah membuat persamaan rumus SCF dengan regresi adalah sebagai berikut (Soh *et al*, 1991):

- Plotkan log SCF yang didapat dari tugas akhir menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* metode elemen terhadap  $\log \left( \frac{t}{T} \right)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan  $m_1$ .
- Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left( \frac{t}{T} \right)^{m_1}}$  terhadap  $\log \left( \frac{D}{2T} \right)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan  $m_2$ .
- Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left( \left( \frac{t}{T} \right)^{m_1} \cdot \left( \frac{D}{2T} \right)^{m_2} \right)}$  terhadap  $\log \left( \frac{d}{D} \right)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan  $m_3$ .
- Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left( \left( \frac{t}{T} \right)^{m_1} \cdot \left( \frac{D}{2T} \right)^{m_2} \cdot \left( \frac{d}{D} \right)^{m_3} \right)}$  terhadap  $\log (\sin \theta)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan  $m_4$ .
- Besarnya  $c$  (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (terdapat pada langkah a).
- Sehingga persamaan SCF untuk sambungan *tubular multi-planar double KT* adalah:

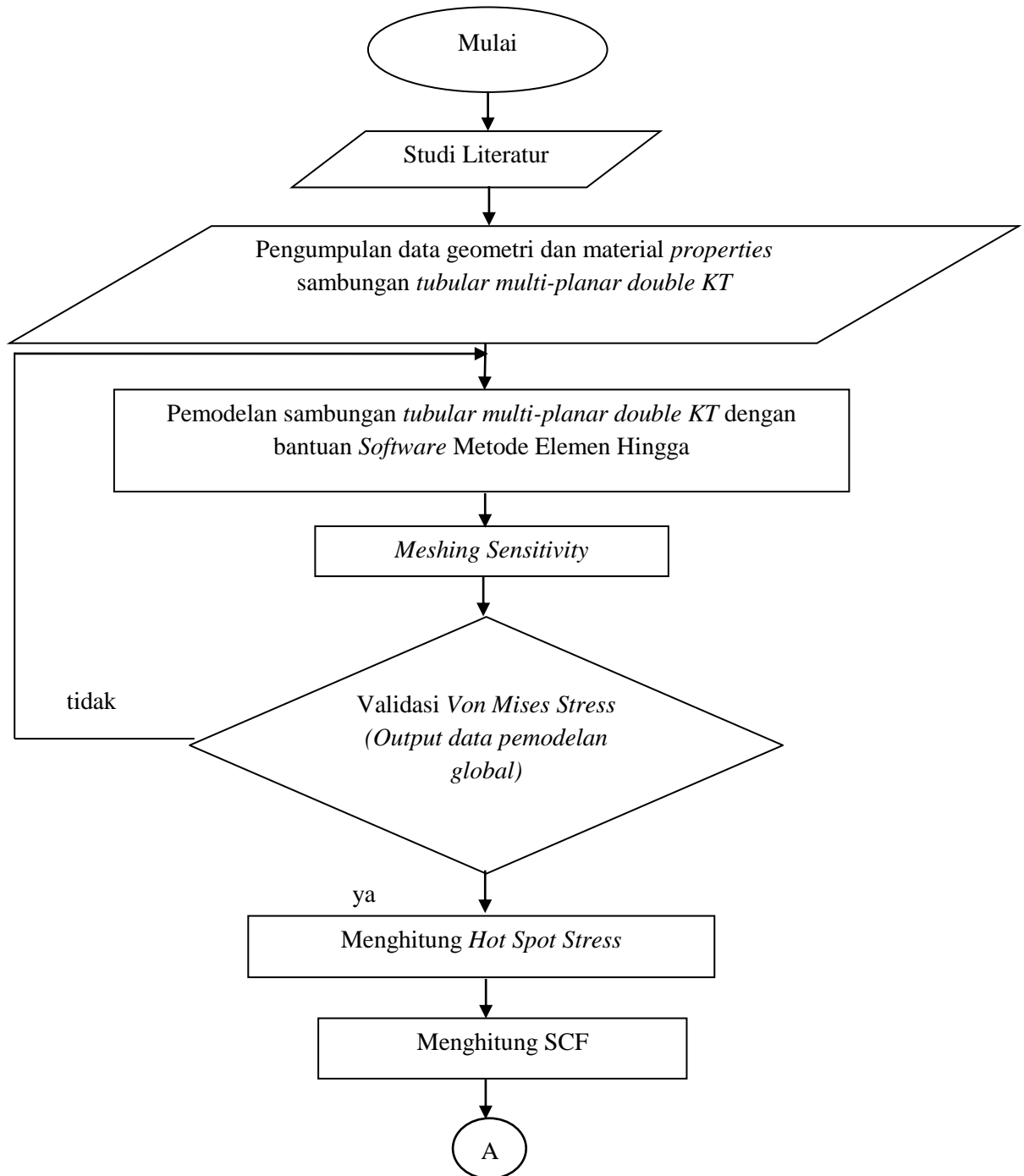
$$SCF = \left( c \left( \frac{t}{T} \right)^{m_1} \cdot \left( \frac{D}{2T} \right)^{m_2} \cdot \left( \frac{d}{D} \right)^{m_3} (\sin \theta)^{m_4} \right) \quad (2.13)$$

## BAB III

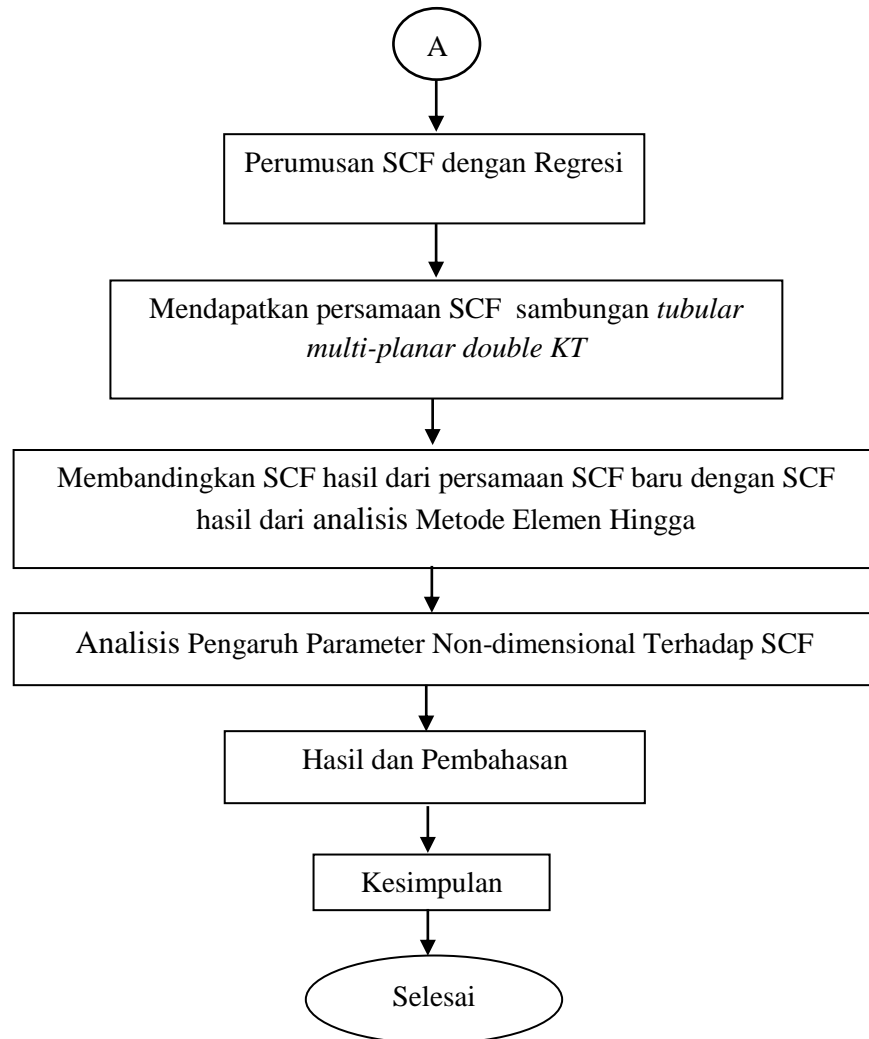
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Skema Diagram Alir

Untuk mempermudah proses pelaksanaan penelitian dalam Tugas Akhir ini, maka disusunlah alur penelitian sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram alir pengerjaan tugas akhir



**Gambar 3.1** Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan)

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

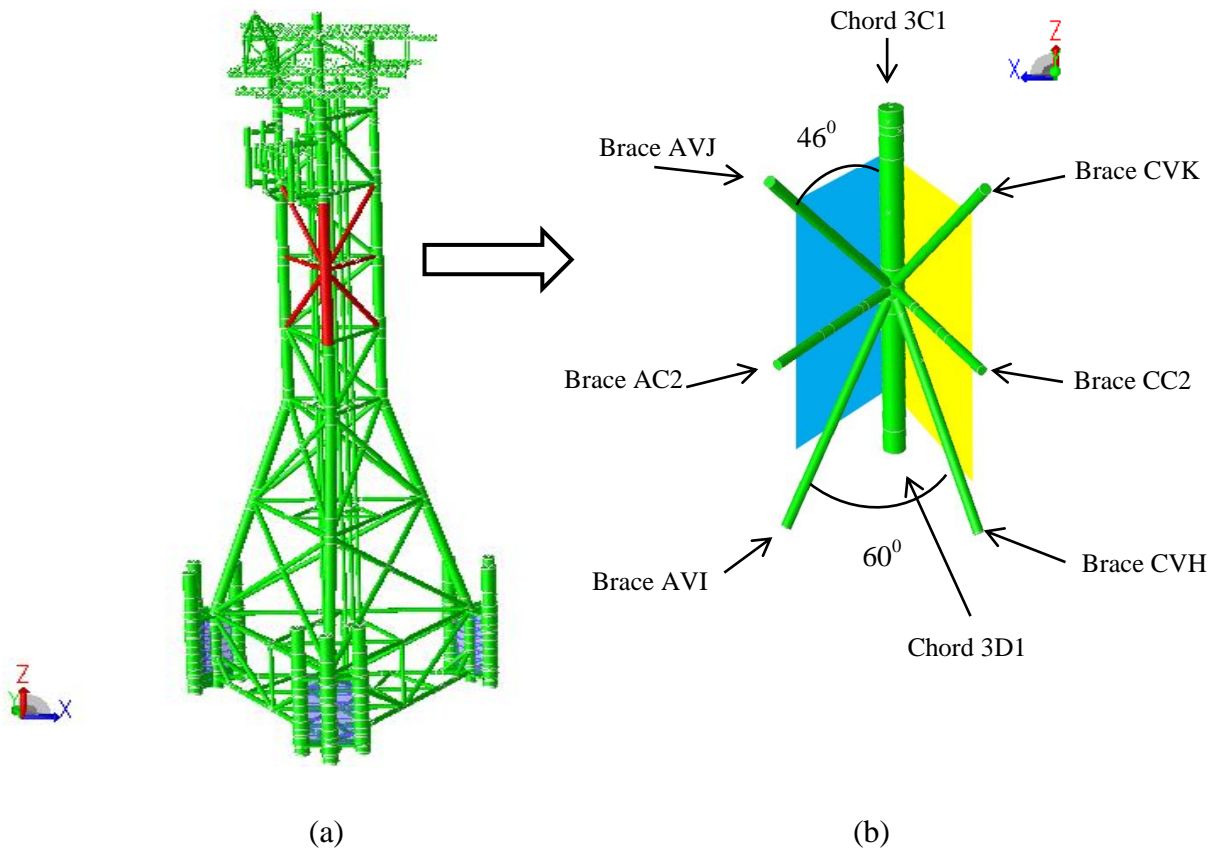
Langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Literatur yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah penelitian tugas akhir sebelumnya, jurnal-jurnal dan buku-buku yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini.

## 2. Pengumpulan Data

Struktur yang akan dianalisis dalam Tugas Akhir ini adalah sambungan tubular *Multi-planar Double KT* pada kaki *Jacket*. Data yang digunakan dalam analisis lokal ini adalah data geometri struktur, material yang digunakan dan pembebanan yang mengenai struktur tersebut. Data pembebanan didapatkan dari pemodelan global struktur tersebut.



**Gambar 3.2** (a) *Braced Production Jacket Platform* (b) *Multi-planar Tubular Joint (DKT joint)*

- a. Geometri struktur dan *Material Properties* sambungan tubular multi-planar double KT meliputi:

**Tabel 3.1** Geometri dan *Material Properties* sambungan tubular multi-planar double KT

	<i>Thickness (t)</i> (in)	<i>Outside Diameter (OD)</i> (in)	<i>Inside Diameter (ID)</i> (in)	<i>Length (L)</i> (in)
Chord 3C1	2	54	50	312
Chord 3D1	2	54	50	312

**Tabel 3.1** Geometri dan *Material Properties* sambungan *tubular multi-planar double KT* (lanjutan)

	<i>Thickness (t)</i> (in)	<i>Outside Diameter</i> (OD) (in)	<i>Inside Diameter</i> (ID) (in)	<i>Length (L)</i> (in)
Brace CVK	1	24	22	540
Brace AVJ	1	24	22	540
Brace CC2	1	24	22	384
Brace AC2	1	24	22	384
Brace CVH	1	24	22	540
Brace AVI	1	24	22	540
<i>Density (lb/ft<sup>3</sup>)</i> = 563,5				
<i>Yield Strength <math>\sigma_y</math> (ksi)</i> = 50				
<i>Mod Young E (ksi)</i> = 30.000				
<i>Shear Modulus G (ksi)</i> = 11.550				
<i>Poisson's Ratio <math>\nu</math></i> = 0,3				

b. Pembebanan pada Struktur Sambungan *Tubular Multi-planar Double KT*

Pembebanan yang mengenai struktur sambungan tubular *Multi-planar Double KT* menggunakan data dari pemodelan global struktur *Jacket Platform* dengan seluruh beban (beban struktur dan beban lingkungan)

**Tabel 3.2** *Moment* dan *Force* pada sambungan tubular *multi-planar double KT*

<i>Member</i>	<i>Moment (kips-in)</i>			<i>Force (kips)</i>		
	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz
Brace CVK	-0,481	-32,916	-10,036	-48,599	-0,009	-0,123
Brace AVJ	2,276	-116,609	12,701	-13,482	-0,054	1,359
Brace CC2	213,415	-675,820	-5,420	9,889	0,009	9,804
Brace AC2	-94,616	-384,778	3,736	10,107	-0,011	5,658
Brace CVH	1,187	-42,973	20,484	49,263	0,046	-0,137
Brace AVI	-0,678	-186,280	31,352	-13,801	-0,113	1.579

c. Variasi parameter

Pada struktur *multiplanar tubular joint double* KT ini akan divariasikan dengan beberapa parameter, yaitu parameter beta ( $\beta$ ), tau ( $\tau$ ), gamma ( $\gamma$ ) dan sudut antara *chord* dan *brace* ( $\theta$ ). Penentuan variasi parameter geometri tersebut harus mengacu pada rasio perbandingan geometri yang meliputi rasio dibawah ini:

$$\beta = \frac{d}{D} = \text{rasio perbandingan diameter } brace \text{ dan } chord$$

$$\tau = \frac{t}{T} = \text{rasio perbandingan ketebalan } brace \text{ dan } chord$$

$$\gamma = \frac{D}{2T} = \text{rasio diameter terhadap ketebalan } chord$$

$$\theta = \text{sudut antara } chord \text{ dan } brace$$

Perbandingan geometri tersebut adalah variabel yang tidak berdimensi yang digunakan untuk persamaan parametrik. Berikut ini adalah range validity yang digunakan dalam penelitian ini:

$$0,3 \leq \beta \leq 0,5$$

$$0,3 \leq \tau \leq 0,6$$

$$10 \leq \gamma \leq 14$$

$$30 \leq \theta \leq 60$$

Berikut ini adalah variasi parameter:

**Tabel 3.3** Variasi parameter dari sambungan *tubular multi-planar double* KT

Joint No.	d (in)	D (in)	L (in)	T (in)	T (in)	d/D $\beta$	t/T $\tau$	D/2T $\gamma$	$\theta$
1	20,50	57,50	624,00	2,70	1,00	0,357	0,370	10,648	39,00
2	20,75	57,25	624,00	2,75	1,00	0,362	0,377	10,802	39,50
3	21,00	57,00	624,00	2,60	1,00	0,368	0,385	10,962	40,00
4	21,25	56,75	624,00	2,55	1,00	0,374	0,392	11,127	40,50
5	21,50	56,50	624,00	2,50	1,00	0,381	0,400	11,300	41,00
6	21,75	56,25	624,00	2,45	1,00	0,387	0,408	11,480	41,50
7	22,00	56,00	624,00	2,40	1,00	0,393	0,417	11,667	42,00

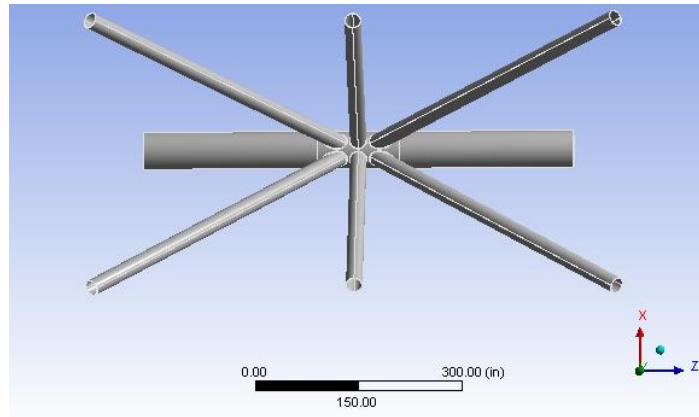
**Tabel 3.3** Variasi parameter dari sambungan *tubular multi-planar double KT*  
(lanjutan)

Joint No.	d (in)	D (in)	L (in)	T (in)	T (in)	d/D $\beta$	t/T $\tau$	D/2T $\gamma$	$\theta$
8	22,25	55,75	624,00	2,35	1,00	0,399	0,426	11,862	42,50
9	22,50	55,50	624,00	2,30	1,00	0,405	0,435	12,065	43,00
10	22,75	55,25	624,00	2,25	1,00	0,412	0,444	12,278	43,50
11	23,00	55,00	624,00	2,20	1,00	0,418	0,455	12,500	44,00
12	23,25	54,25	624,00	2,15	1,00	0,425	0,465	12,733	44,50
13	23,50	54,50	624,00	2,10	1,00	0,431	0,476	12,976	45,00
14	23,75	54,25	624,00	2,05	1,00	0,438	0,488	12,232	45,50
15	24,00	54,00	624,00	2,00	1,00	0,444	0,500	13,500	46,00
16	24,00	53,75	624,00	1,95	1,00	0,447	0,513	13,782	46,50
17	24,00	53,50	624,00	1,90	1,00	0,449	0,526	14,079	47,00
18	24,00	53,25	624,00	1,85	1,00	0,451	0,541	14,392	47,50
19	24,00	53,00	624,00	1,80	1,00	0,453	0,556	14,722	48,00
20	24,00	54,00	580,50	2,00	1,00	0,444	0,500	13,500	46,00
21	24,00	54,00	607,50	2,00	1,00	0,444	0,500	13,500	46,00
22	24,00	54,00	634,50	2,00	1,00	0,444	0,500	13,500	46,00
23	18,90	54,00	624,00	2,00	1,00	0,350	0,500	13,500	46,00
24	21,60	54,00	624,00	2,00	1,00	0,400	0,500	13,500	46,00
25	24,30	54,00	624,00	2,00	1,00	0,450	0,500	13,500	46,00
26	24,00	54,00	624,00	2,00	0,70	0,444	0,350	13,500	46,00
27	24,00	54,00	624,00	2,00	0,90	0,444	0,450	13,500	46,00
28	24,00	54,00	624,00	2,00	1,10	0,444	0,550	13,500	46,00
29	24,00	54,00	624,00	2,70	1,35	0,444	0,500	10,000	46,00
30	24,00	54,00	624,00	2,25	1,13	0,444	0,500	12,000	46,00
31	24,00	54,00	624,00	1,80	0,90	0,444	0,500	15,000	46,00
32	24,00	54,00	624,00	2,00	1,00	0,444	0,500	13,500	36,00
33	24,00	54,00	624,00	2,00	1,00	0,444	0,500	13,500	46,00
34	24,00	54,00	624,00	2,00	1,00	0,444	0,500	13,500	56,00



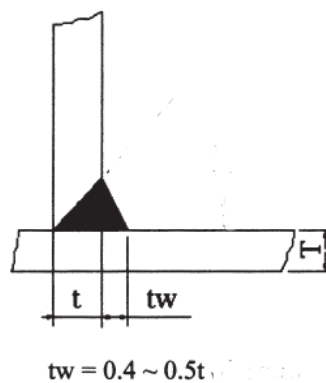
### 3. Pemodelan dengan *Software* Metode Elemen Hingga

Struktur sambungan tubular *multi-planar double KT* yang akan dianalisis dimodelkan secara menyeluruh menggunakan *software* metode elemen hingga. Model awal ini menggunakan data geometri, material dan pembebanan yang dipaparkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.3. Untuk batas tumpuan yang digunakan pada ujung-ujung chord menggunakan *fixed-end*.



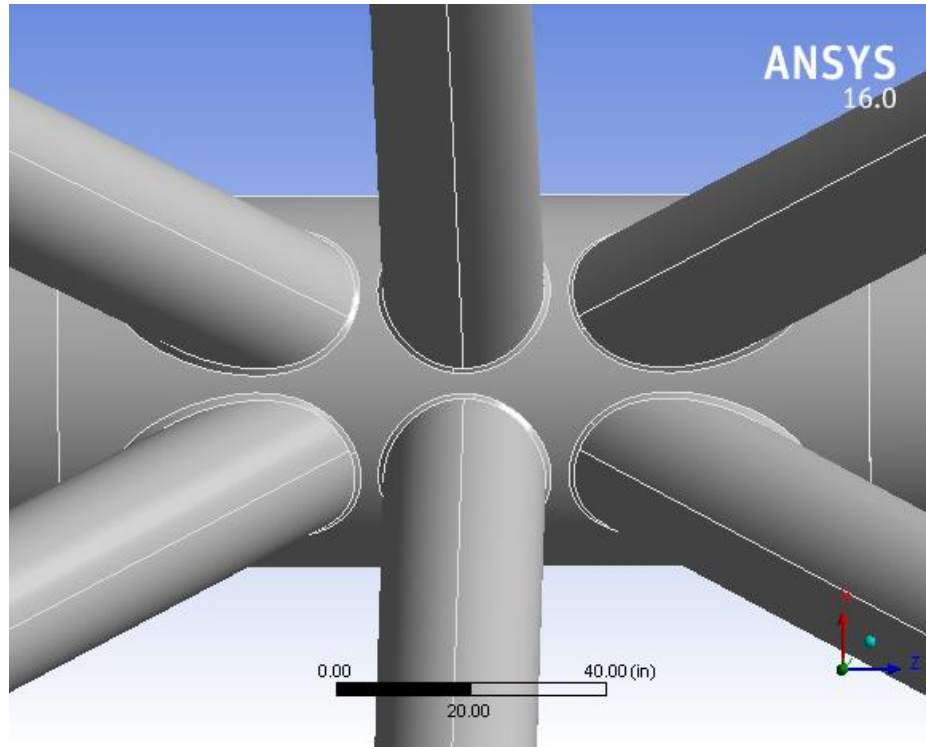
**Gambar 3.3** Model *multi-planar tubular joint double KT*

Untuk mendapatkan hasil tegangan yang lebih teliti, diperlukan pemodelan sambungan las dengan kerapatan *meshing* yang halus. Pemodelan sambungan las diperlukan karena perpotongan antara dua *tubular* akan membentuk suatu sambungan, dimana konsentrasi tegangan terjadi didekat atau berada di sambungan tersebut. Sambungan tersebut disambung dengan teknik pengelasan. Antar sambungan *tubular* disambung dengan jenis sambungan *fillet joint* dan jenis lasan *fillet weld*. Pada pemodelan las ini menggunakan las dengan bentuk *toe fillet* dengan ukuran ketebalan las mengacu pada AWS D1.1.



**Gambar 3.4** Ketentuan ukuran ketebalan las mengacu pada AWS D1.1

Ketebalan *brace* pada sambungan *tubular* dalam tugas akhir ini sebesar 1 inchi, maka berdasarkan AWS D1.1 besarnya ketebalan las sebesar 0,5 inch di setiap sisi sambungan antar *tubular*nya.



**Gambar 3.5** Model Sambungan Las

#### 4. *Meshing Sensitivity*

Pada tahap ini dilakukan pengecekan *meshing* pada sambungan *tubular multiplanar double KT* disetiap titik elemen. Pengecekan ini dilakukan dengan *meshing sensitifitas* untuk mendapatkan jumlah dan ukuran elemen sehingga didapatkan hasil tegangan yang konstan.

#### 5. *Validasi Nominal Stress*

Dengan pemodelan lokal tersebut maka didapatkan distribusi tegangan nilai *nominal stress* yaitu tegangan rata-rata yang dikenai beban pada suatu member dan berada jauh dari tegangan *hotspot*. Tegangan *nominal* pada analisis lokal ini berupa tegangan von mises yang akan divalidasikan dengan tegangan von mises pada tegangan global. Tegangan nominal pada analisis lokal menggunakan *probe stress* yang ada pada *software* elemen hingga.

Pengertian von mises sendiri adalah tegangan gabungan (*equivalent*) antara tegangan aksial dan tegangan geser terhadap semua arah bidang *element* dengan

pendekatan matriks. Validasi yang baik presentase *error*nya harus seminimal atau sekecil mungkin agar model lokal mendekati model yang sebenarnya. Von mises dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_{xx}-\sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy}-\sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz}-\sigma_{xx})^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \quad (3.1)$$

#### 6. Menghitung faktor konsentrasi tegangan

Setelah diketahui tegangan nominal dan tegangan *hotspot*nya, rumus faktor konsentrasi tegangan adalah:

$$SCF = \frac{\sigma_{maks}}{\sigma_n} \quad (3.2)$$

#### 7. Penentuan Persamaan SCF dengan Regresi

Apabila diasumsikan bahwa variasi dari SCF dengan parameter geometrik dalam bentuk pangkat dari masing-masing parameter tersebut, maka plot dari SCF dengan parameter tertentu dalam skala logaritma akan dapat digunakan dalam menghasilkan persamaan SCF.

Langkah-langkah membuat persamaan rumus SCF dengan regresi adalah sebagai berikut :

- a. Plotkan log SCF yang didapat dari tugas akhir menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* metode elemen terhadap  $\log \left( \frac{t}{T} \right)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan m1.
- b. Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left( \frac{t}{T} \right)^{m1}}$  terhadap  $\log \left( \frac{D}{2T} \right)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan m2.
- c. Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left( \left( \frac{t}{T} \right)^{m1} \cdot \left( \frac{D}{2T} \right)^{m2} \right)}$  terhadap  $\log \left( \frac{d}{D} \right)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan m3.
- d. Plotkan  $\log \frac{SCF}{\left( \left( \frac{t}{T} \right)^{m1} \cdot \left( \frac{D}{2T} \right)^{m2} \cdot \left( \frac{d}{D} \right)^{m3} \right)}$  terhadap  $\log (\sin \theta)$ , dari regresi linier didapatkan kemiringan m4.

- e. Besarnya  $c$  (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (terdapat pada langkah a).
- f. Sehingga persamaan SCF untuk sambungan *tubular multi-planar double KT* adalah:

$$SCF = \left( c \left( \frac{t}{T} \right)^{m_1} \cdot \left( \frac{D}{2T} \right)^{m_2} \cdot \left( \frac{d}{D} \right)^{m_3} (\sin \theta)^{m_4} \right) \quad (3.3)$$

8. Mendapatkan persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar double KT*

Setelah mendapatkan persamaan baru (persamaan 3.3) dan besarnya  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $m_4$  dan  $c$ , maka masukkan besarnya  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ,  $m_4$  dan  $c$  kedalam persamaan baru (persamaan 3.3) sehingga didapatkan persamaan SCF yang sesungguhnya.

9. Membandingkan SCF hasil dari persamaan SCF baru dengan SCF hasil dari analisis Metode Elemen Hingga

Setelah mendapatkan persamaan SCF, langkah berikutnya yang harus dilakukan adalah membandingkan SCF hasil dari persamaan SCF baru dengan SCF hasil dari analisis metode elemen hingga untuk melihat kecocokan hasil dari keduanya.

10. Analisis Pengaruh Parameter Non-dimensional Terhadap SCF

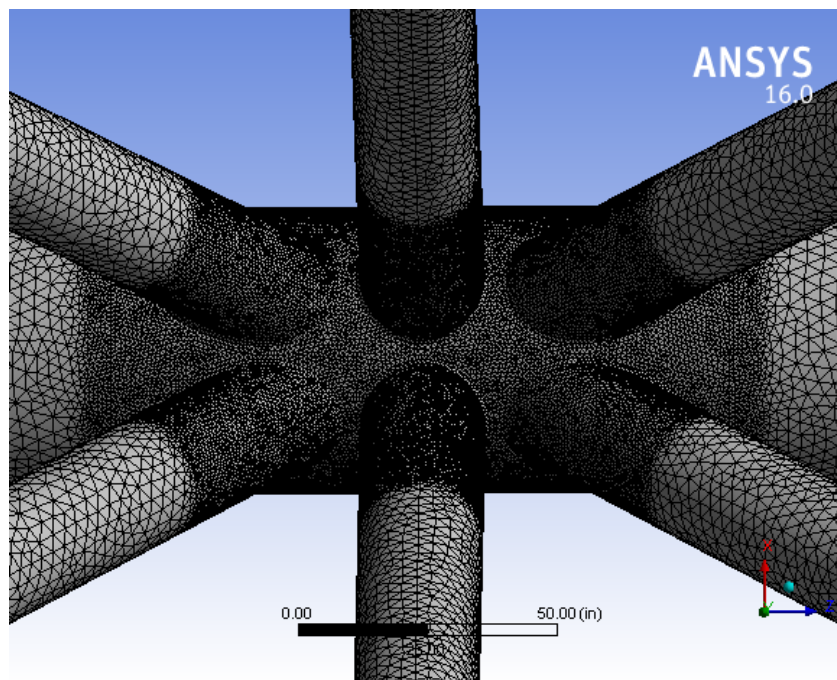
Plot grafik besarnya SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* yang diperoleh dari formula baru terhadap fungsi dari parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$  dan  $\theta$  akan memberikan gambaran pengaruh parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$  dan  $\theta$  terhadap distribusi SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* yang diperoleh dari formula baru.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemodelan Elemen Hingga

Pemodelan sambungan *tubular multiplanar double KT* pada tugas akhir ini menggunakan *solid element* dengan bantuan *software Solidwork 2015*. Data geometri model yang terdiri dari diameter *chord*, diameter *brace*, ketebalan *chord*, ketebalan *brace*, panjang *chord*, panjang *brace*, sudut antara *brace* dan *chord*, sudut antara dua *brace* yang berbeda bidang dan *material properties* semuanya menggunakan data yang ada pada pemodelan global yang dipaparkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.3. Setelah memodelkan sambungan *tubular multiplanar double KT* dengan bantuan *software Solidwork 2015*, kemudian file disimpan dalam format .IGS dan di import ke *software* elemen hingga.

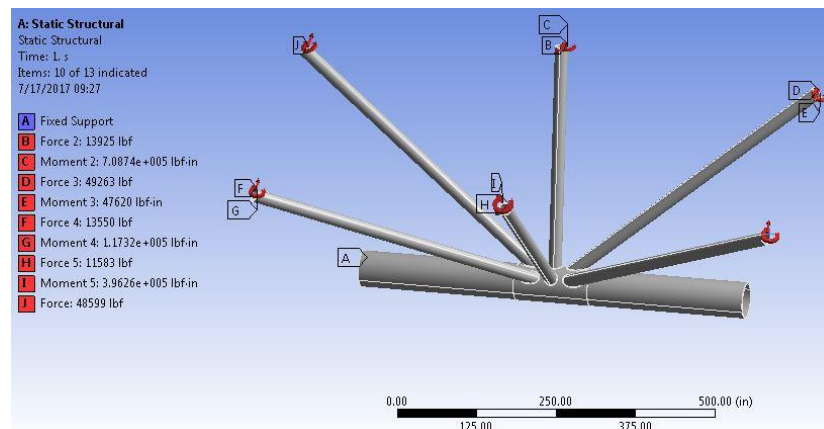


**Gambar 4.1** Model *meshing* pada *multi-planar tubular joint double KT*

Setelah model dari *software Solidwork 2015* dalam format .IGS di *import* ke *software* elemen hingga, maka kemudian dilakukan *meshing*. Pada saat melakukan *meshing*, bisa memilih dengan cara otomatis (*default*) atau bisa juga dengan mengatur ukuran besar kecilnya elemen pada struktur model. Ukuran

*meshing* dibuat lebih kecil (halus) pada daerah sambungan antara *brace* dan *chord* sedangkan pada daerah yang lebih jauh dari tinjauan pengamatan bisa dibuat ukuran *meshing* yang agak besar (kasar). *Meshing* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *solid* elemen tiga dimensi dengan tipe elemen linier tetrahedron dengan jumlah titik sebanyak empat pada setiap elemen.

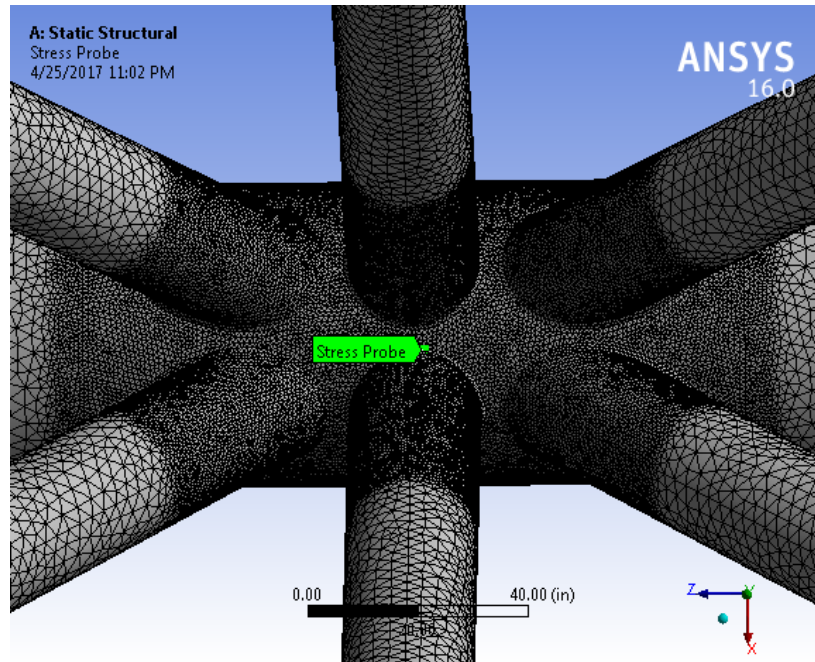
Kondisi batas dan pembebanan pada *chord* dan *brace* dilakukan setelah *meshing* selesai dilakukan. Kondisi batas untuk analisis struktur menggunakan jepit (*fixed*) pada kedua ujung *chord*. Penelitian yang pernah dilakukan oleh (Lotfollahiyaghin, 2011) menyebutkan bahwa model sambungan *tubular* dengan parameter  $\alpha > 12$ , besarnya tegangan pada daerah sambungan tidak dipengaruhi oleh tumpuan pada *chord*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter  $\alpha = 21,5$  maka secara teori tumpuan yang digunakan dalam tugas akhir ini tidak terlalu berpengaruh terhadap besarnya tegangan pada daerah sambungan. Pembebanan meliputi gaya aksial dan *moment bending* yang mengacu pada pemodelan global yang disajikan pada Tabel 3.2.



**Gambar 4.2** Kondisi batas dan pembebanan pada model

## 4.2 Analisis Sensitifitas *Meshing* (*Meshing Sensitivity*)

Analisis sensitifitas *meshing* dilakukan untuk mengukur konsistensi dan keakuratan *output* dari analisis pemodelan *software* elemen hingga dengan jumlah elemen yang digunakan. Analisis dapat dilakukan dengan menggunakan tumpuan dan pembebanan yang sama namun divariasikan terhadap jumlah elemennya dengan letak titik tinjau harus berada pada titik yang sama untuk berbagai variasi jumlah elemen.



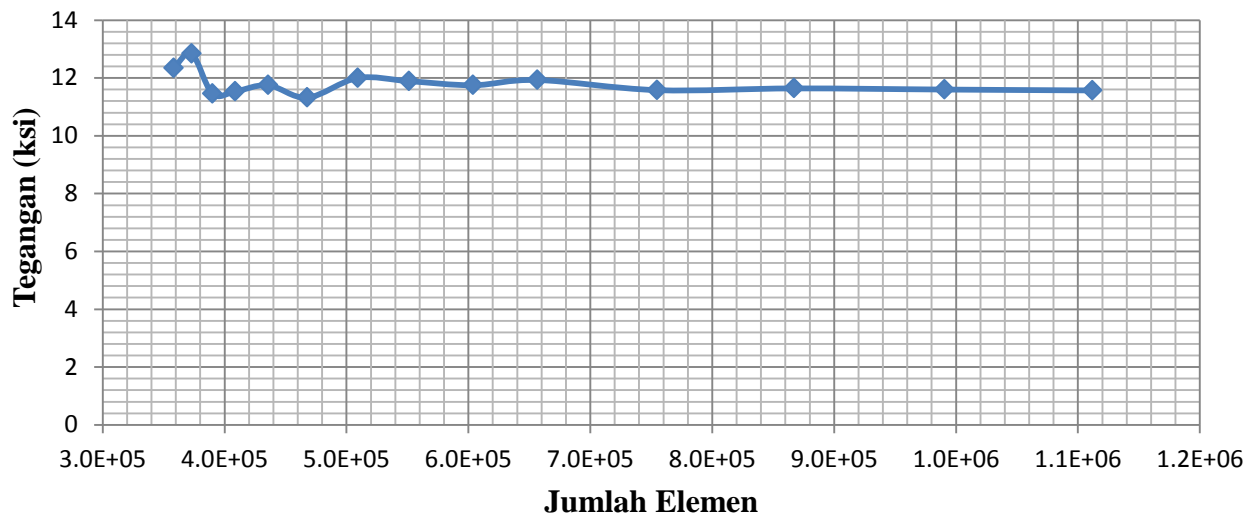
**Gambar 4.3** Letak titik tinjau pada analisis *meshing sensitivity*

Analisis sensitifitas *meshing* ini dilakukan untuk mendapatkan jumlah dan ukuran elemen sehingga didapatkan hasil tegangan yang konstan. Analisis sensitifitas *meshing* pada model *tubular joint double KT* dilakukan dengan tiga kondisi penbebanan, yaitu akibat beban kombinasi, akibat gaya aksial dan akibat *bending moment*. Berikut adalah hasil analisis sensitifitas *meshing* pada model *tubular joint double KT* akibat kombinasi dari gaya dan momen.

**Tabel 4.1** *Meshing sensitivity* akibat beban kombinasi

No	Jumlah Elemen	Tegangan (ksi)	Change (%)
1	358179	12,345	
2	373059	12,84	3,855
3	390022	11,456	12,081
4	408545	11,530	0,642
5	435671	11,75	1,872
6	467794	11,32	3,799
7	509145	12	5,667
8	551325	11,89	0,925
9	603822	11,75	1,191
10	656583	11,93	1,509
11	754722	11,58	3,022
12	867228	11,64	0,515
13	990615	11,6	0,345
14	1111926	11,57	0,259

### Meshing Sensitivitas Akibat Beban Kombinasi



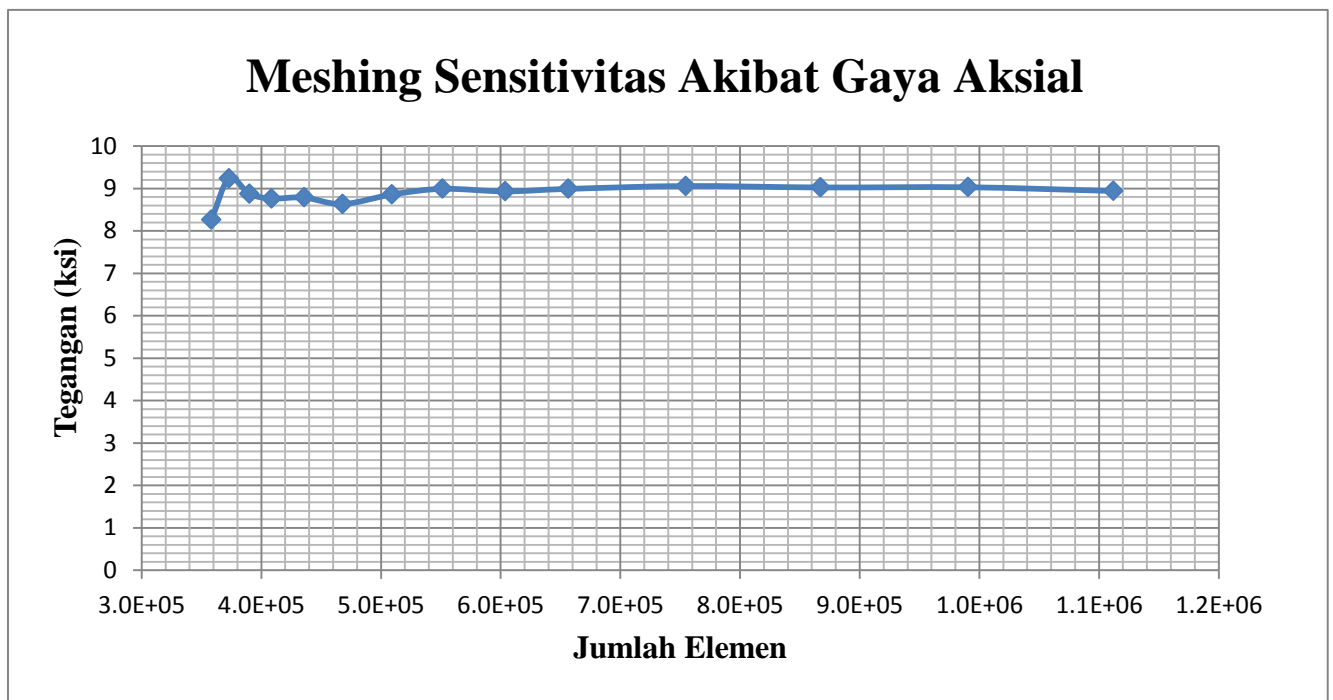
**Gambar 4.4** Grafik hasil *meshing sensitivity* akibat beban kombinasi

Setelah melakukan analisis *meshing sensitivity* akibat beban kombinasi, maka juga akan dilakukan analisis *meshing sensitivity* akibat gaya aksial. Letak titik tinjau untuk analisis *meshing sensitivity* akibat beban gaya aksial sama dengan analisis *meshing sensitivity* akibat beban kombinasi. Hasil analisis sensitifitas *meshing* pada model *tubular joint double KT* akibat gaya aksial adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.2** *Meshing sensitivity* akibat gaya aksial

No	Jumlah Elemen	Tegangan (ksi)	Change (%)
1	358179	8,261	
2	373059	9,235	10,547
3	390022	8,877	4,037
4	408545	8,763	1,301
5	435671	8,788	0,284
6	467794	8,633	1,795
7	509145	8,859	2,551
8	551325	8,992	1,479
9	603822	8,933	0,660
10	656583	8,991	0,645
11	754722	9,058	0,740
12	867228	9,025	0,366
13	990615	9,029	0,044
14	1111926	8,942	0,973





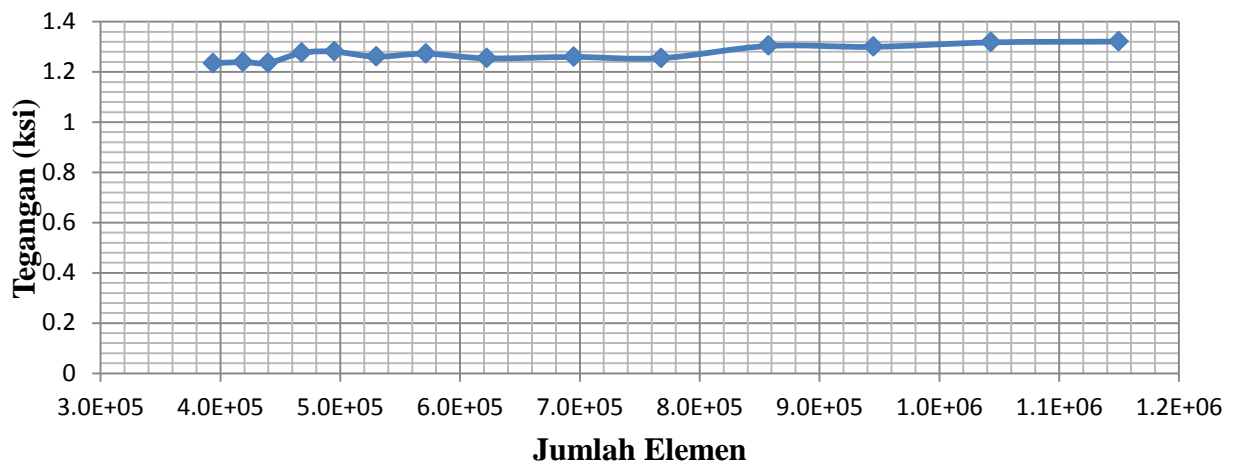
**Gambar 4.5** Grafik hasil *meshing sensitivity* akibat gaya aksial

Setelah melakukan analisis *meshing sensitivity* akibat gaya aksial, maka juga akan dilakukan analisis *meshing sensitivity* akibat beban *bending moment*. Letak titik tinjau untuk analisis *meshing sensitivity* akibat beban *bending moment* sama dengan analisis *meshing sensitivity* akibat beban kombinasi dan akibat gaya aksial. Hasil analisis sensitifitas *meshing* pada model *tubular joint double KT* akibat *bending moment* adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.3** *Meshing sensitivity* akibat *bending moment*

No	Jumlah Elemen	Tegangan (ksi)	Change (%)
1	393936	1,2347	
2	418838	1,2392	0,363
3	439812	1,2358	0,275
4	467734	1,276	3,143
5	495054	1,2808	0,383
6	530036	1,2609	1,578
7	571407	1,2727	0,927
8	622173	1,2543	1,467
9	694935	1,2598	0,437
10	767938	1,2549	0,390
11	857355	1,3036	3,736
12	944960	1,3	0,277
13	1042940	1,3177	1,343
14	1149538	1,321	0,250

### Meshing Sensitivitas Akibat *Bending Moment*



**Gambar 4.6** Grafik hasil meshing sensitivitas akibat *bending moment*

Setelah melakukan meshing sensitivitas maka dipilih jumlah elemen yang akan digunakan untuk analisis berikutnya. Jumlah elemen yang dipilih harus mempunyai konvergensi hasil tegangan yang baik. Setelah menentukan tipe elemen dan jumlah elemen, maka model akan divariasikan diameter *brace*, diameter *chord*, ketebalan *chord* dan sudut antara *brace* dan *chord*. Total jumlah model yang akan di analisis sejumlah 34 model.

#### 4.3 Validasi Tegangan Nominal

Tegangan *nominal* pada analisis lokal ini berupa tegangan *von mises* yang akan divalidasikan dengan tegangan *von mises* pada tegangan global. Tegangan nominal pada analisis lokal menggunakan *probe stress* yang ada pada *software* elemen hingga. Tegangan nominal pada analisis lokal didapat pada daerah yang jauh dari sambungan untuk menghindari diskontinuitas, dimana pada daerah sambungan yang mengalami diskontinuitas merupakan daerah yang mengalami tegangan maksimum (*hotspot stress*).

Pengertian von mises sendiri adalah tegangan gabungan (*equivalent*) antara *shear stress* dan *axial stress* terhadap semua arah bidang *element* dengan pendekatan matriks. Untuk analisis global, *von mises stress* dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.1). Validasi yang baik presentase *error*nya harus

seminimal atau sekecil mungkin agar model lokal mendekati model yang sebenarnya.

Berikut ini adalah hasil dari validasi tegangan nominal :

**Tabel 4.4** Validasi Tegangan Nominal

$\sigma_{xx}$ (ksi)	$\sigma_{yy}$ (ksi)	$\sigma_{zz}$ (ksi)	$\tau_{xy}$ (ksi)	$\tau_{yz}$ (ksi)	$\tau_{xz}$ (ksi)	$\sigma$ von misses (ksi)		Error (%)
						Rumus	FEA	
4,92	6,90	3,59	4,76	0,93	0,88	9,0297	9,0298	0,000916

Dari Tabel 4.4 didapatkan bahwa presentase *error*nya 0,000916%. Besarnya presentase *error*nya masih berada dibawah 1%, hal tersebut menunjukkan bahwa analisis lokal sudah mendekati analisis global baik dari segi pemodelan struktur, pembebanan, kondisi batas dan juga hasil dari analisis, sehingga analisis lokal tervalidasi oleh analisis global.

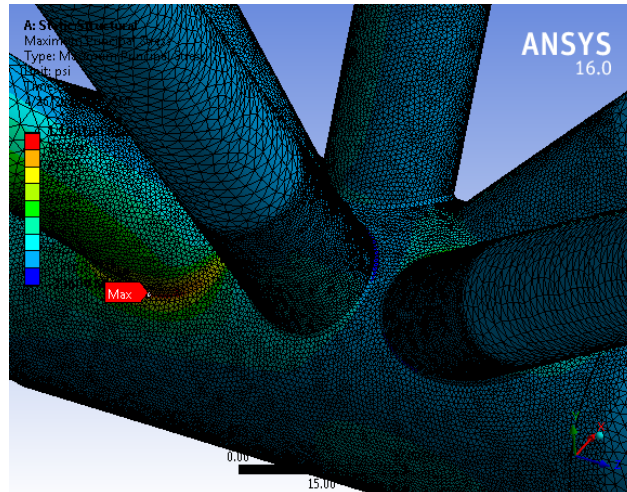
#### 4.4 Distribusi Tegangan di Sekitar Garis Sambungan dengan Variasi Parameter Non-dimensional

Hasil dari studi parametrik dengan pendekatan elemen hingga dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variasi parameter non-dimensional terhadap distribusi tegangan sepanjang garis sambungan (*intersection line*) antara *brace* dengan *chord*, yang dalam tugas akhir ini dilakukan sepanjang garis *weld toe* pada sisi *chord*. Distribusi tegangan sepanjang *weld toe* pada sisi *chord* yang akan diinvestigasi hanya pada sambungan antara *brace* dengan *chord* yang mengalami tegangan terbesar.

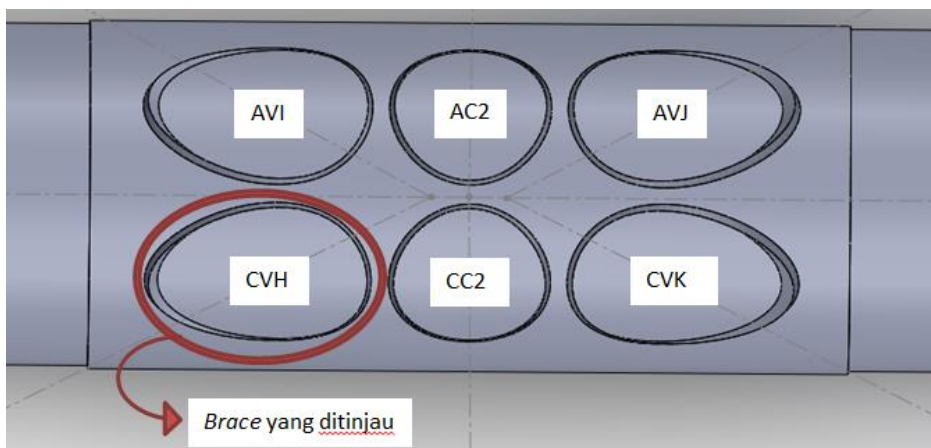
##### 4.4.1 Beban Aksial

Pada tugas akhir ini, sambungan antara *brace* dengan *chord* yang mengalami tegangan terbesar akibat gaya aksial terletak pada sambungan antara *brace* CVH dengan *chord*, karena *brace* CVH terkena gaya yang paling besar diantara *brace* lainnya, dimana gaya pada *brace* didapatkan dari output analisis global. Gambar dari sambungan antara *brace* CVH dengan *chord* dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9. Garis sambungan berbentuk oval dengan pendekatan sudut (derajat). Titik *crown* 1 diasumsikan sebagai sudut 0° dan sudut 360° yang menunjukkan bahwa titik *crown* 1 merupakan titik dimulainya

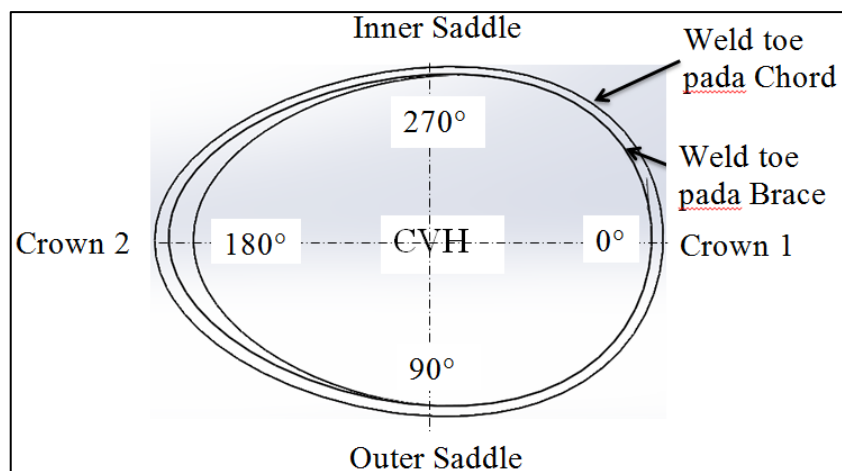
investigasi dan titik berakhirnya investigasi. Titik *outer saddle* diasumsikan sebagai sudut  $90^\circ$ , titik *crown 2* diasumsikan sebagai sudut  $180^\circ$  dan *inner saddle* diasumsikan sebagai sudut  $270^\circ$ .



**Gambar 4.7** Lokasi tegangan maksimum pada daerah sambungan *brace* CVH



**Gambar 4.8** Posisi *brace* CVH yang akan ditinjau

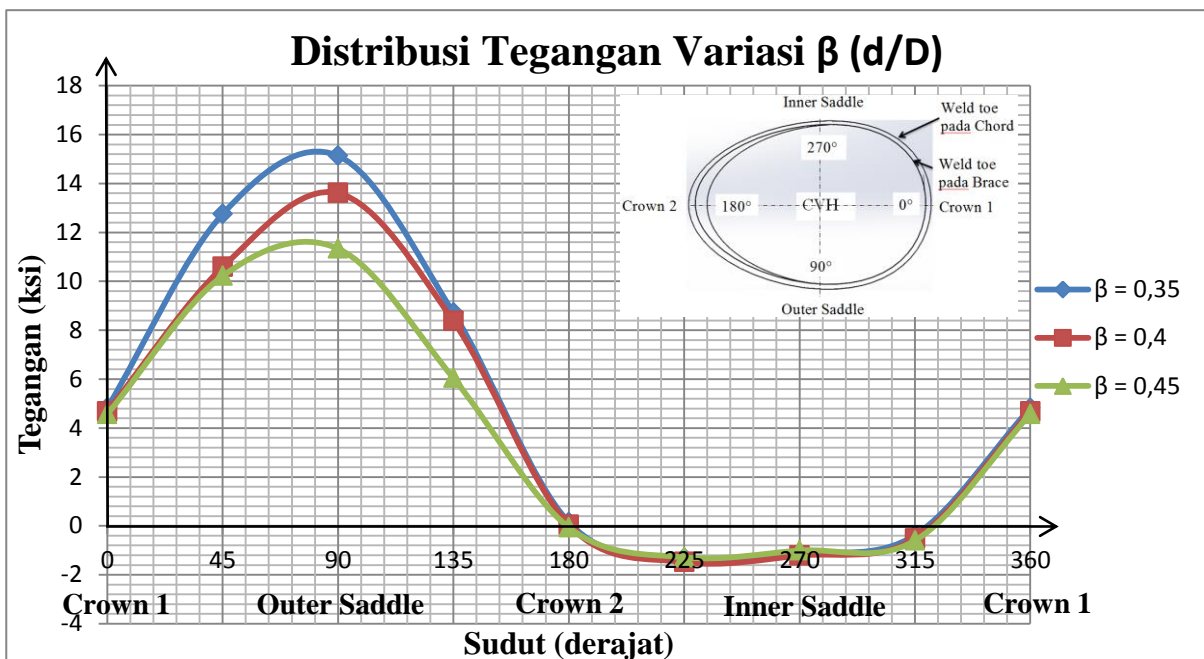


**Gambar 4.9** Garis sambungan *brace* CVH yang akan diinvestigasi

#### 4.4.1.1 Pengaruh Variasi $\beta$ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter  $\beta$  merupakan rasio perbandingan antara diameter *brace* dengan diameter *chord*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter  $\beta$  divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter  $\beta$  dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu  $\beta = 0,35$ ;  $\beta = 0,4$  dan  $\beta = 0,45$ . Semua parameter selain parameter  $\beta$ , yaitu parameter  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut. Semakin besar  $\beta$  pada model yang mempunyai diameter *chord* yang dibuat sama untuk ketiga model, maka menyebabkan semakin besar diameter *brace*.

Hasil dari investigasi ditunjukkan pada Gambar 4.10. Pada Gambar 4.10 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang *weld toe* untuk  $\beta = 0,35$ ;  $\beta = 0,4$  dan  $\beta = 0,45$ , dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya sudut (derajat) sepanjang *weld toe* yang dimulai dari titik *crown 1* dan sumbu vertikal menunjukkan besarnya tegangan dalam satuan *ksi* pada setiap posisi yang spesifik (titik *crown* dan titik *saddle*). Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\beta$  maka akan semakin kecil tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Lotfollahiyaghin, 2011). Dari ketiga model tersebut, tegangan maksimum terjadi pada titik yang sama, yaitu pada titik *outer saddle* (sudut  $90^\circ$ ).

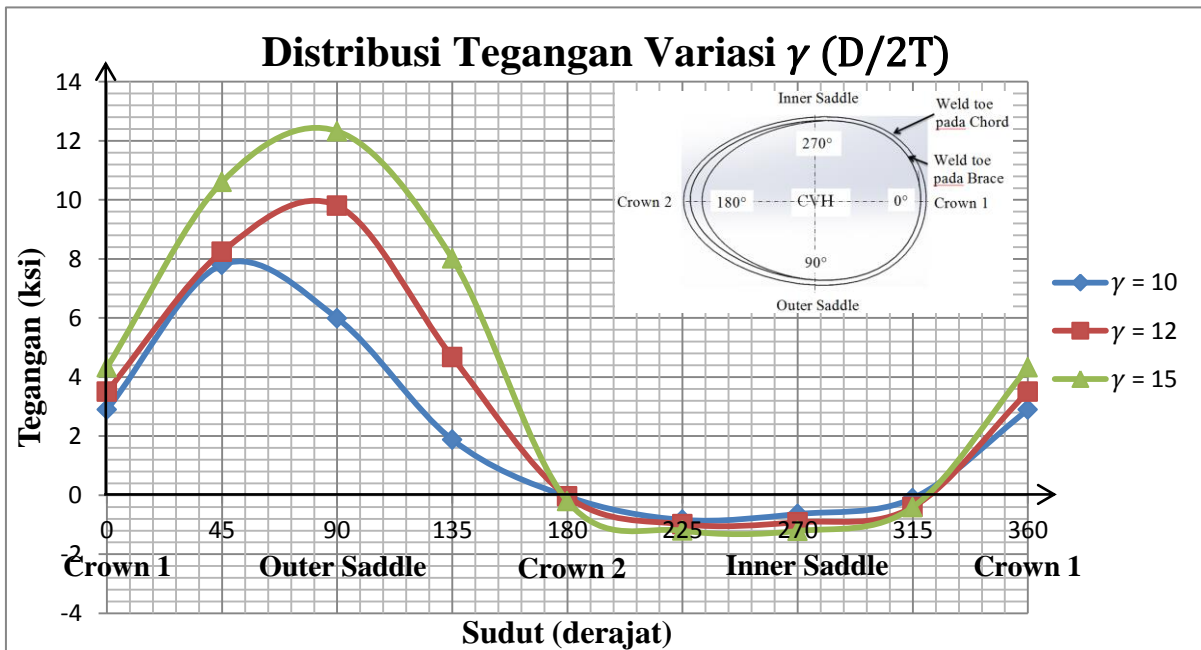


Gambar 4.10 Pengaruh dari parameter  $\beta$  terhadap distribusi tegangan

#### 4.4.1.2 Pengaruh Variasi $\gamma$ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter  $\gamma$  merupakan rasio perbandingan antara diameter *chord* dengan ketebalan *chord*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter  $\gamma$  divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter  $\gamma$  dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu  $\gamma = 10$ ;  $\gamma = 12$  dan  $\gamma = 15$ . Semua parameter selain parameter  $\gamma$ , yaitu parameter  $\tau$ ,  $\beta$  dan  $\theta$  besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Hasil dari investigasi ditunjukkan pada Gambar 4.11. Pada Gambar 4.11 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang *weld toe* untuk  $\gamma = 10$ ;  $\gamma = 12$  dan  $\gamma = 15$ , dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya sudut (derajat) sepanjang *weld toe* yang dimulai dari titik *crown 1* dan sumbu vertikal menunjukkan besarnya tegangan dalam satuan *ksi* pada setiap posisi yang spesifik (titik *crown* dan titik *saddle*). Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\gamma$  maka akan semakin besar pula tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Lotfollahiyaghin, 2011). Pada model  $\gamma = 12$  dan  $\gamma = 15$ , tegangan maksimum terjadi pada titik *outer saddle* (sudut  $90^\circ$ ) sedangkan untuk model  $\gamma = 10$ , tegangan maksimum terjadi pada titik dengan sudut  $45^\circ$ .

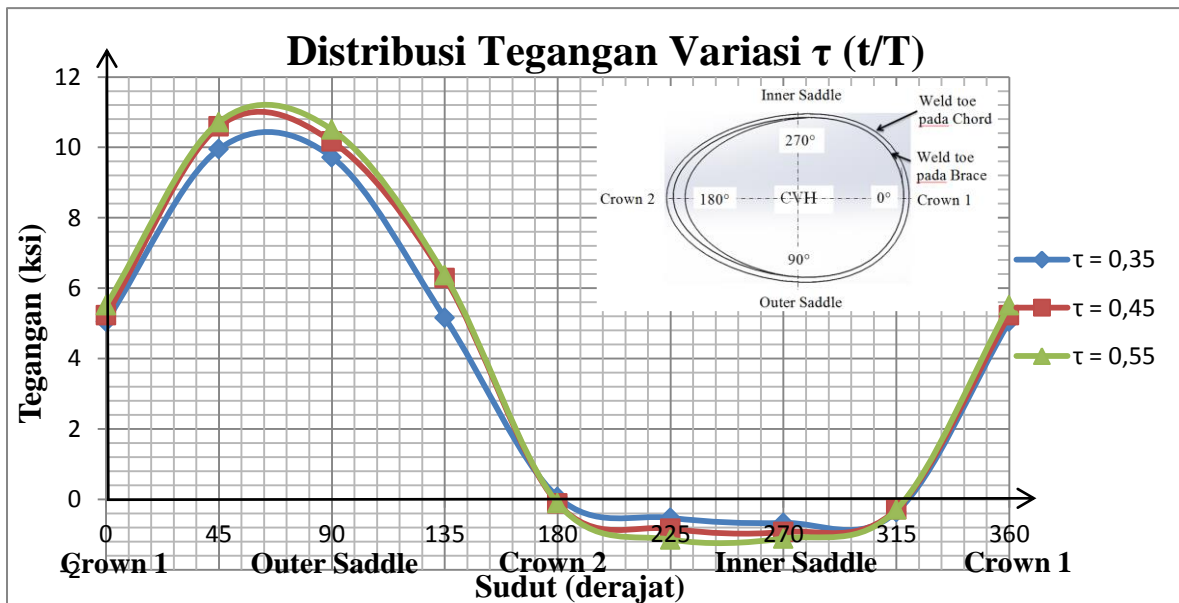


Gambar 4.11 Pengaruh dari parameter  $\gamma$  terhadap distribusi tegangan

#### 4.4.1.3 Pengaruh Variasi $\tau$ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter  $\tau$  merupakan rasio perbandingan antara ketebalan *brace* dengan ketebalan *chord*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter  $\tau$  divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter  $\tau$  dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu  $\tau = 0,35$ ;  $\tau = 0,45$  dan  $\tau = 0,55$ . Semua parameter selain parameter  $\tau$ , yaitu parameter  $\beta$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Hasil dari investigasi ditunjukkan pada Gambar 4.12. Pada Gambar 4.12 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang *weld toe* untuk  $\tau = 0,35$ ;  $\tau = 0,45$  dan  $\tau = 0,55$ , dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya sudut (derajat) sepanjang *weld toe* yang dimulai dari titik *crown 1* dan sumbu vertikal menunjukkan besarnya tegangan dalam satuan *ksi* pada setiap posisi yang spesifik (titik *crown* dan titik *saddle*). Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\tau$  maka akan semakin besar pula tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Lotfollahiyaghin, 2011). Dari ketiga model tersebut, tegangan maksimum terjadi pada titik dengan sudut  $45^\circ$ .



Gambar 4.12 Pengaruh dari parameter  $\tau$  terhadap distribusi tegangan

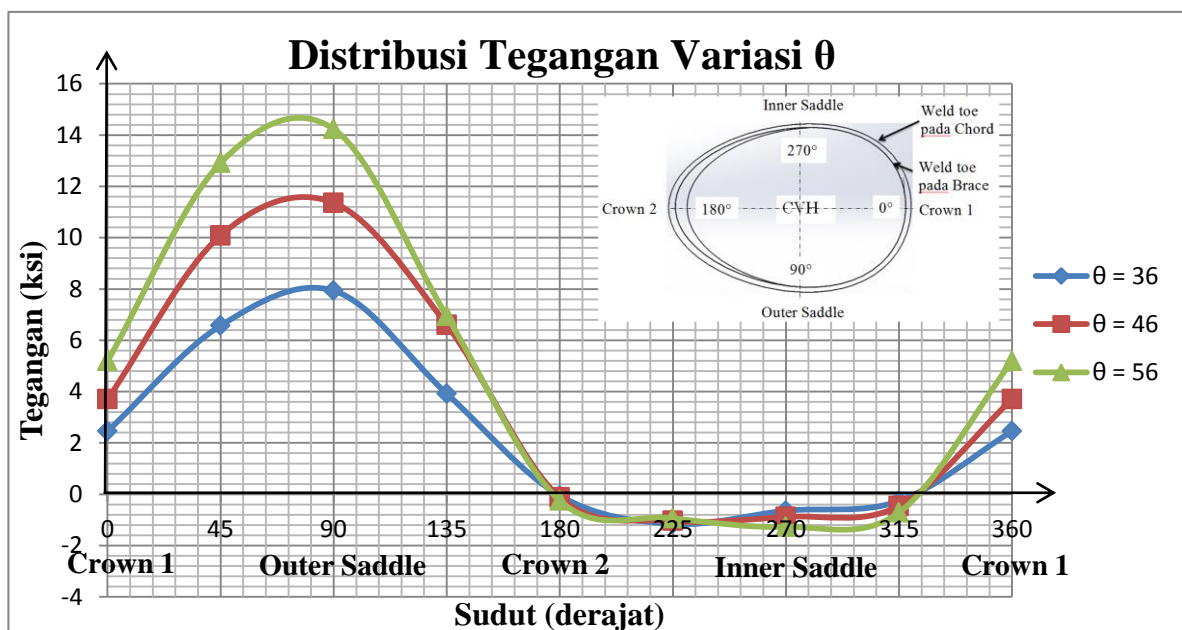
#### 4.4.1.4 Pengaruh Variasi $\theta$ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter  $\theta$  merupakan sudut antara *chord* dengan *brace*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter  $\theta$  divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter  $\theta$  dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu  $\theta = 36^\circ$ ;  $\theta = 46^\circ$  dan  $\theta$



=  $56^\circ$ . Semua parameter selain parameter  $\theta$ , yaitu parameter  $\beta$ ,  $\gamma$  dan  $\tau$  besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Hasil dari investigasi ditunjukkan pada Gambar 4.13. Pada Gambar 4.13 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang *weld toe* untuk  $\theta = 36^\circ$ ;  $\theta = 46^\circ$  dan  $\theta = 56^\circ$ , dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya sudut (derajat) sepanjang *weld toe* yang dimulai dari titik *crown 1* dan sumbu vertikal menunjukkan besarnya tegangan dalam satuan *ksi* pada setiap posisi yang spesifik (titik *crown* dan titik *saddle*). Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\theta$  maka akan semakin besar pula tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Lotfollahiyaghin, 2011). Dari ketiga model tersebut, tegangan maksimum terjadi pada titik yang sama, yaitu pada titik *outer saddle* (sudut  $90^\circ$ ).



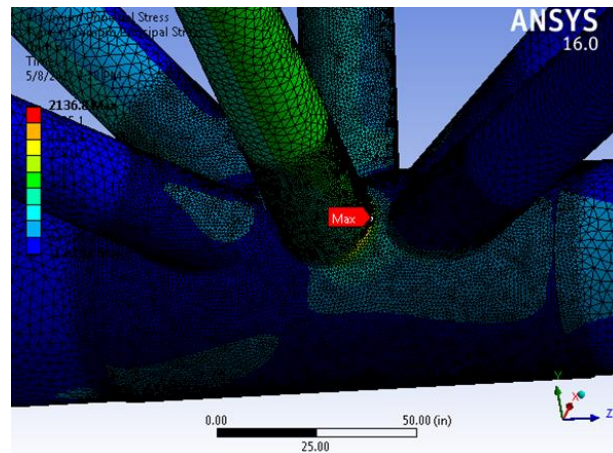
Gambar 4.13 Pengaruh dari parameter  $\theta$  terhadap distribusi tegangan

#### 4.4.2 Beban Bending Moment

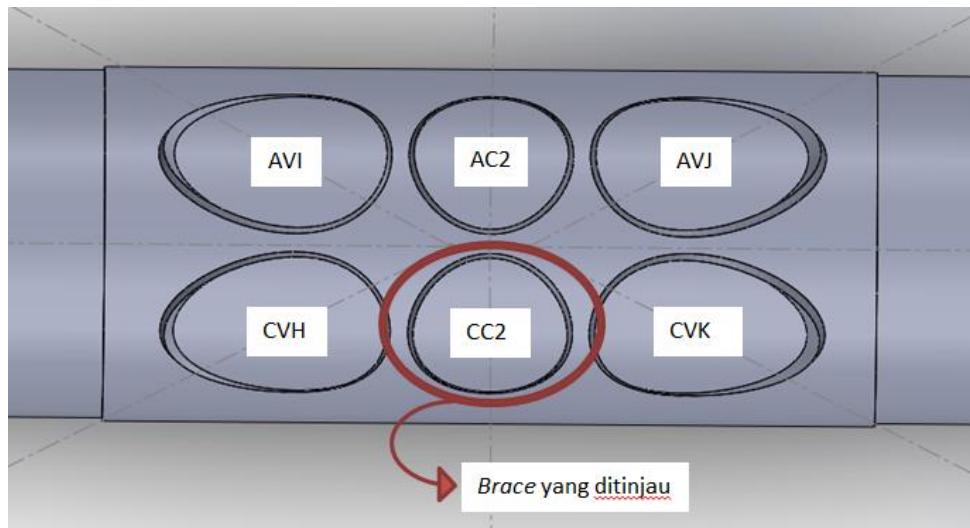
Sambungan antara *brace* dengan *chord* yang mengalami tegangan terbesar akibat beban momen terletak pada sambungan antara *brace* CC2 dengan *chord*. Garis sambungan berbentuk oval dengan pendekatan sudut (derajat) dapat dilihat pada Gambar 4.16. Titik *crown 1* diasumsikan sebagai sudut  $0^\circ$  dan sudut  $360^\circ$  yang menunjukkan bahwa titik *crown 1* merupakan titik dimulainya investigasi dan titik berakhirnya investigasi. Titik *outer saddle* diasumsikan sebagai sudut



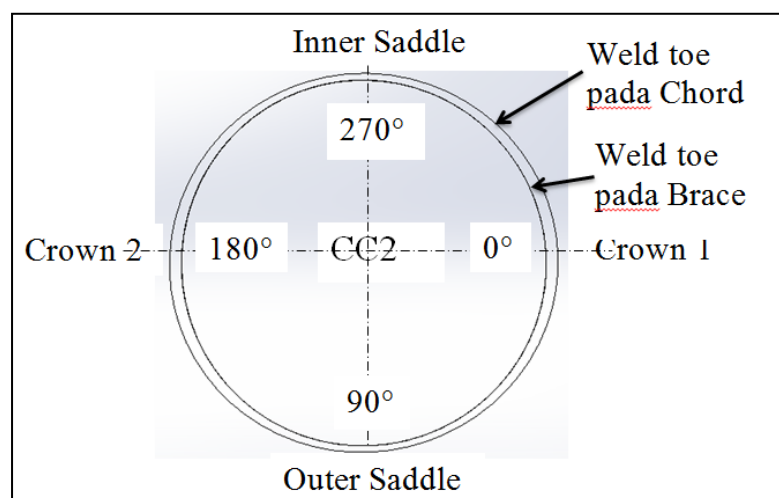
90°, titik *crown 2* diasumsikan sebagai sudut 180° dan *inner saddle* diasumsikan sebagai sudut 270°.



**Gambar 4.14** Lokasi tegangan maksimum pada daerah sambungan *brace* CC2



**Gambar 4.15** Posisi *brace* CC2 yang akan ditinjau

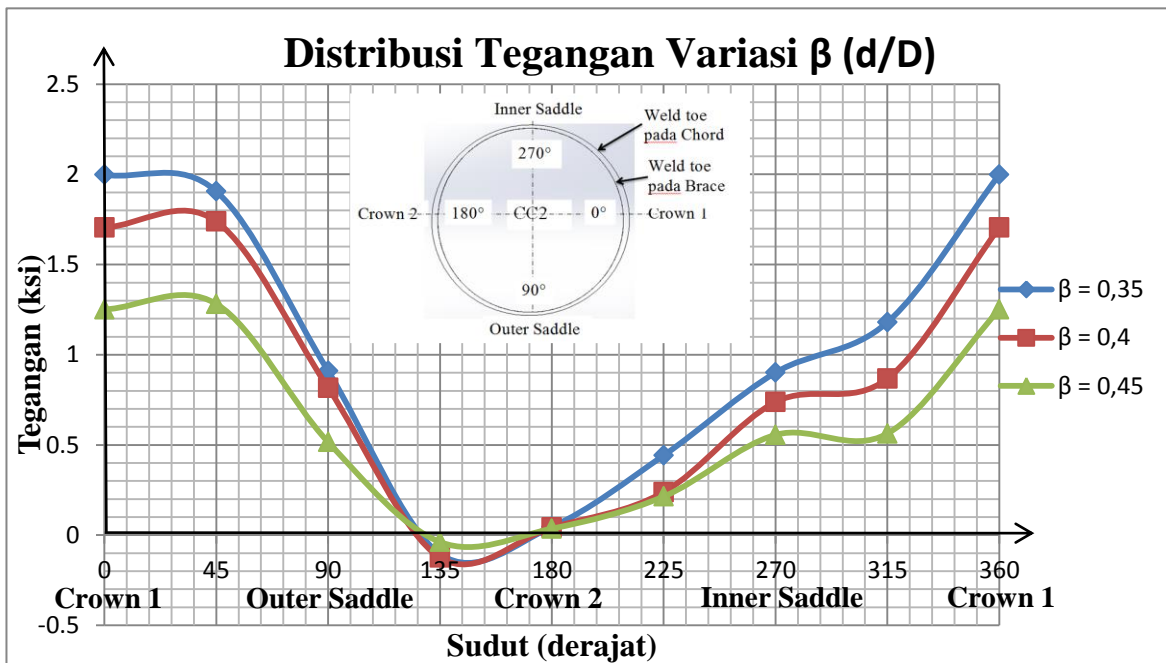


**Gambar 4.16** Garis sambungan *brace* CC2 yang akan diinvestigasi

#### 4.4.2.1 Pengaruh Variasi $\beta$ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter  $\beta$  merupakan rasio perbandingan antara diameter *brace* dengan diameter *chord*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter  $\beta$  divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter  $\beta$  dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu  $\beta = 0,35$ ;  $\beta = 0,4$  dan  $\beta = 0,45$ . Semua parameter selain parameter  $\beta$ , yaitu parameter  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut. Semakin besar  $\beta$  pada model yang mempunyai diameter *chord* yang dibuat sama untuk ketiga model, maka menyebabkan semakin besar diameter *brace*.

Hasil dari investigasi ditunjukkan pada Gambar 4.17. Pada gambar 4.17 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang *weld toe* untuk  $\beta = 0,35$ ;  $\beta = 0,4$  dan  $\beta = 0,45$ , dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya sudut (derajat) sepanjang *weld toe* yang dimulai dari titik *crown 1* dan sumbu vertikal menunjukkan besarnya tegangan dalam satuan *ksi* pada setiap posisi yang spesifik (titik *crown* dan titik *saddle*). Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\beta$  maka akan semakin kecil tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Hal ini sesuai dengan kondisi beban aksial. Dari ketiga model tersebut, tegangan maksimum terjadi pada titik yang sama, yaitu pada sudut  $45^\circ$ .

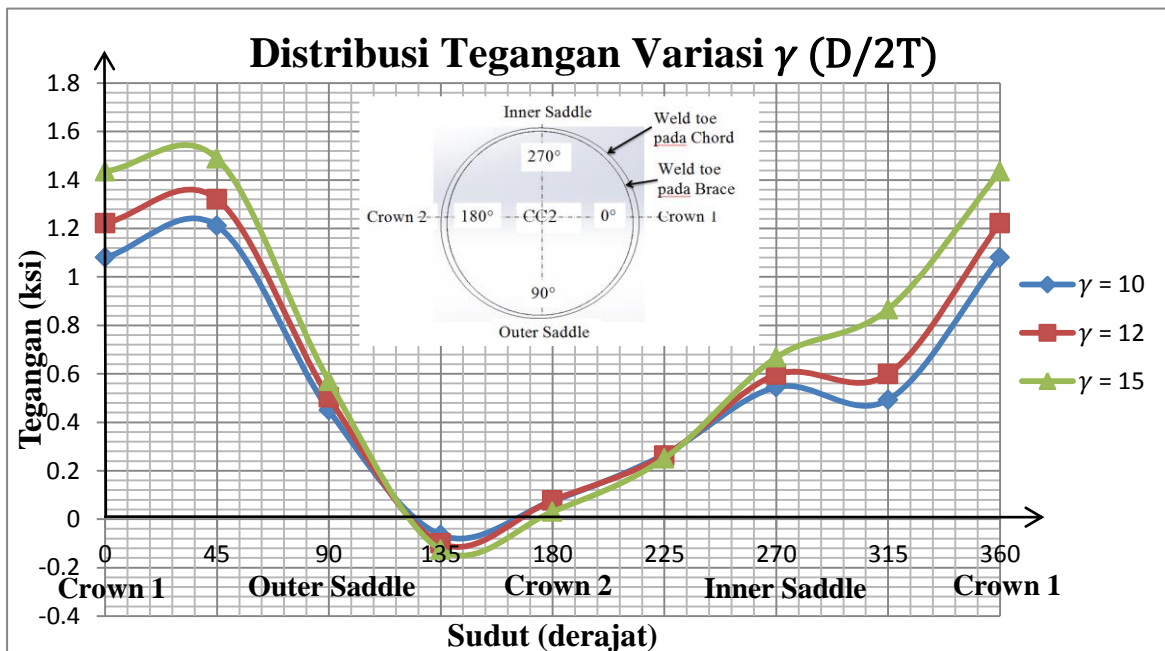


Gambar 4.17 Pengaruh dari parameter  $\beta$  terhadap distribusi tegangan

#### 4.4.2.2 Pengaruh Variasi $\gamma$ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter  $\gamma$  merupakan rasio perbandingan antara diameter *chord* dengan ketebalan *chord*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter  $\gamma$  divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter  $\gamma$  dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu  $\gamma = 10$ ;  $\gamma = 12$  dan  $\gamma = 15$ . Semua parameter selain parameter  $\gamma$ , yaitu parameter  $\tau$ ,  $\beta$  dan  $\theta$  besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Hasil dari investigasi ditunjukkan pada Gambar 4.18. Pada Gambar 4.18 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang *weld toe* untuk  $\gamma = 10$ ;  $\gamma = 12$  dan  $\gamma = 15$ , dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya sudut (derajat) sepanjang *weld toe* yang dimulai dari titik *crown* 1 dan sumbu vertikal menunjukkan besarnya tegangan dalam satuan *ksi* pada setiap posisi yang spesifik (titik *crown* dan titik *saddle*). Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\gamma$  maka akan semakin besar pula tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Hal ini sesuai dengan kondisi beban aksial. Pada model  $\gamma = 12$ ;  $\gamma = 10$  dan  $\gamma = 15$ , tegangan maksimum terjadi pada sudut  $45^\circ$ .

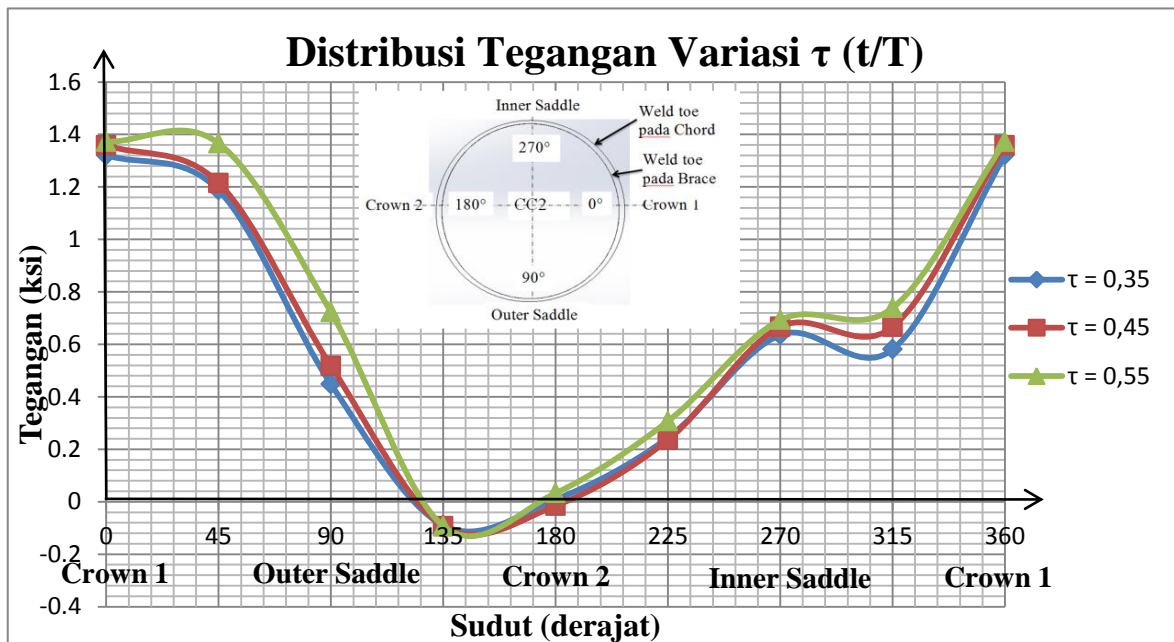


Gambar 4.18 Pengaruh dari parameter  $\gamma$  terhadap distribusi tegangan

#### 4.4.2.3 Pengaruh Variasi $\tau$ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter  $\tau$  merupakan rasio perbandingan antara ketebalan *brace* dengan ketebalan *chord*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter  $\tau$  divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya parameter  $\tau$  dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu  $\tau = 0,35$ ;  $\tau = 0,45$  dan  $\tau = 0,55$ . Semua parameter selain parameter  $\tau$ , yaitu parameter  $\beta$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Hasil dari investigasi ditunjukkan pada Gambar 4.19. Pada Gambar 4.19 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang *weld toe* untuk  $\tau = 0,35$ ;  $\tau = 0,45$  dan  $\tau = 0,55$ , dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya sudut (derajat) sepanjang *weld toe* yang dimulai dari titik *crown 1* dan sumbu vertikal menunjukkan besarnya tegangan dalam satuan *ksi* pada setiap posisi yang spesifik (titik *crown* dan titik *saddle*). Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\tau$  maka akan semakin besar pula tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Hal ini sesuai dengan kondisi beban aksial.. Dari ketiga model tersebut, tegangan maksimum terjadi pada titik crown 1 (dengan sudut  $0^\circ$ ).



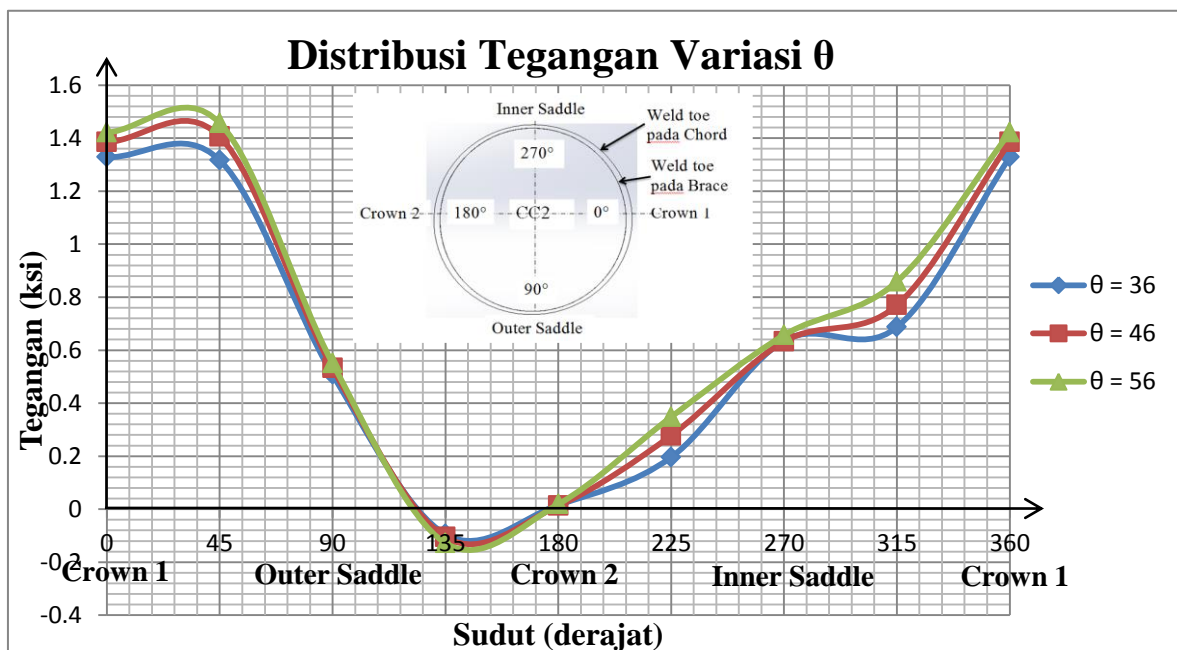
Gambar 4.19 Pengaruh dari parameter  $\tau$  terhadap distribusi tegangan

#### 4.4.2.4 Pengaruh Variasi $\theta$ Terhadap Distribusi Tegangan

Parameter  $\theta$  merupakan sudut antara *chord* dengan *brace*. Pada tugas akhir ini besarnya parameter  $\theta$  divariasikan menjadi tiga model dengan besarnya

parameter  $\theta$  dibuat beda untuk ketiga model tersebut, yaitu  $\theta = 36^\circ$ ;  $\theta = 46^\circ$  dan  $\theta = 56^\circ$ . Semua parameter selain parameter  $\theta$ , yaitu parameter  $\beta$ ,  $\gamma$  dan  $\tau$  besarnya dibuat sama untuk ketiga model tersebut.

Hasil dari investigasi ditunjukkan pada Gambar 4.20. Pada Gambar 4.20 menunjukkan distribusi tegangan sepanjang *weld toe* untuk  $\theta = 36^\circ$ ;  $\theta = 46^\circ$  dan  $\theta = 56^\circ$ , dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya sudut (derajat) sepanjang *weld toe* yang dimulai dari titik *crown 1* dan sumbu vertikal menunjukkan besarnya tegangan dalam satuan *ksi* pada setiap posisi yang spesifik (titik *crown* dan titik *saddle*). Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\theta$  maka akan semakin besar pula tegangan pada suatu titik di daerah sambungan. Hal ini sesuai dengan kondisi beban aksial. Dari ketiga model tersebut, tegangan maksimum terjadi pada sudut  $45^\circ$ .



Gambar 4.20 Pengaruh dari parameter  $\theta$  terhadap distribusi tegangan

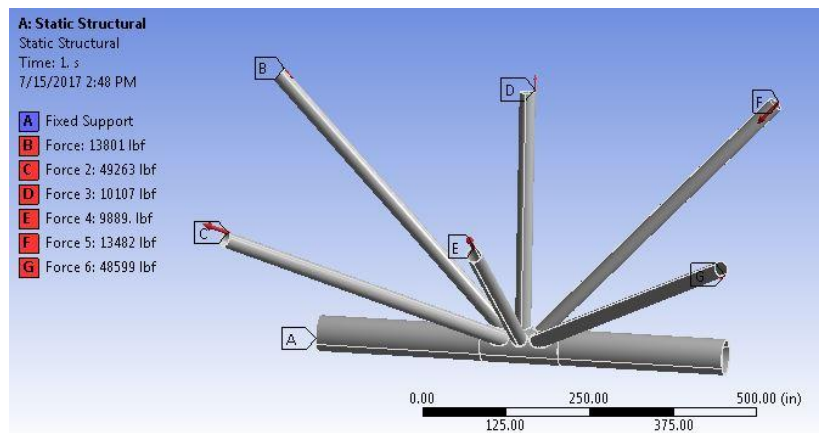
#### 4.5 Tegangan Hot Spot

Pada analisis tegangan dengan pendekatan metode elemen hingga, besarnya tegangan pada titik yang ada di elemen didapatkan dari tegangan rata-rata yang dihitung dari semua elemen yang berdekatan. Tegangan pada titik *weld toe* didapatkan dari tegangan rata-rata sehingga tidak akurat karena adanya

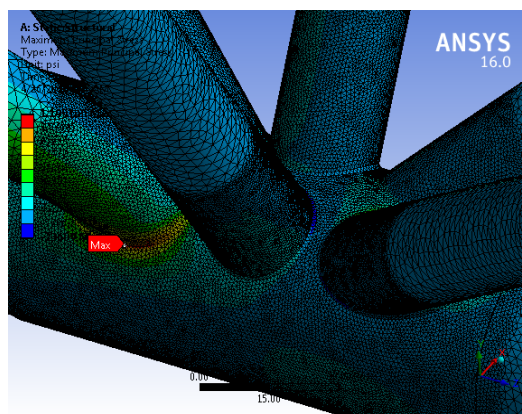
diskontinuitas di daerah sambungan antara *brace* dan *chord*. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini besarnya tegangan hotspot ditentukan dengan menggunakan ekstrapolasi linier. Metode ekstrapolasi linier dilakukan dengan membuat dua titik yang membentuk suatu daerah yang akan di ekstrapolasi linier tegangan. Pada tugas akhir ini, untuk menentukan jarak dua titik ekstrapolasi linier yang digunakan mengacu pada DNVGL-RP-C203. Untuk menentukan jarak dua titik ekstrapolasi linier akan diuraikan pada lampiran Tegangan *hotspot* yang dihasilkan yaitu tegangan *hotspot* akibat beban aksial dan tegangan *hotspot* akibat beban *bending*.

#### 4.5.1 Beban Aksial

Beban yang diberikan gaya aksial tekan pada keenam *brace* sesuai dengan data global pada struktur tersebut, dan pada bagian ujung *chord* diberikan *fixed support*. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *maximum principal stress*. Pengertian *maximum principal stress* sendiri adalah tegangan yang cenderung digunakan struktur dengan mengabaikan tegangan geser.



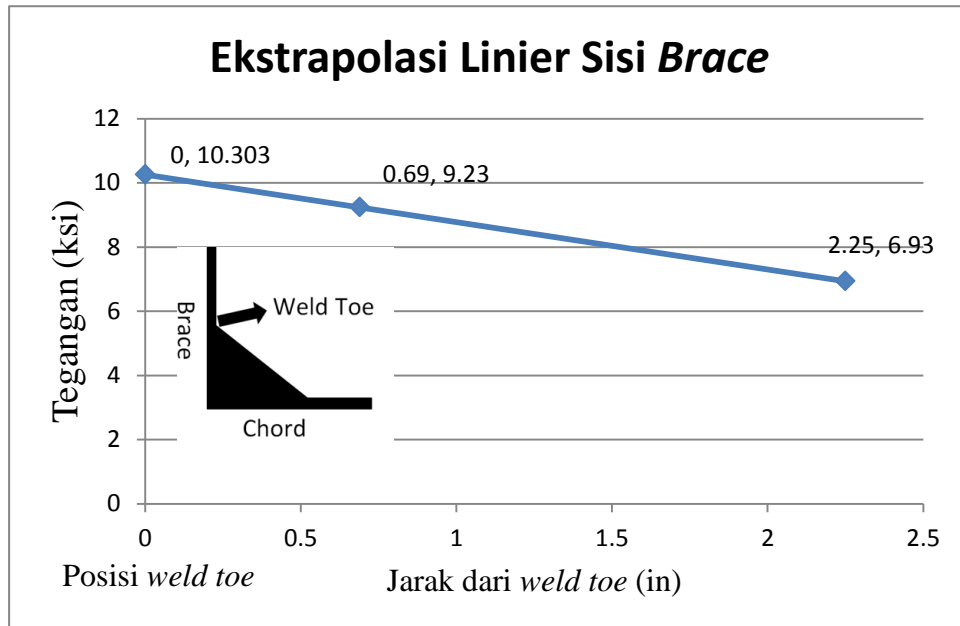
**Gambar 4.21** Pembebanan gaya aksial pada model



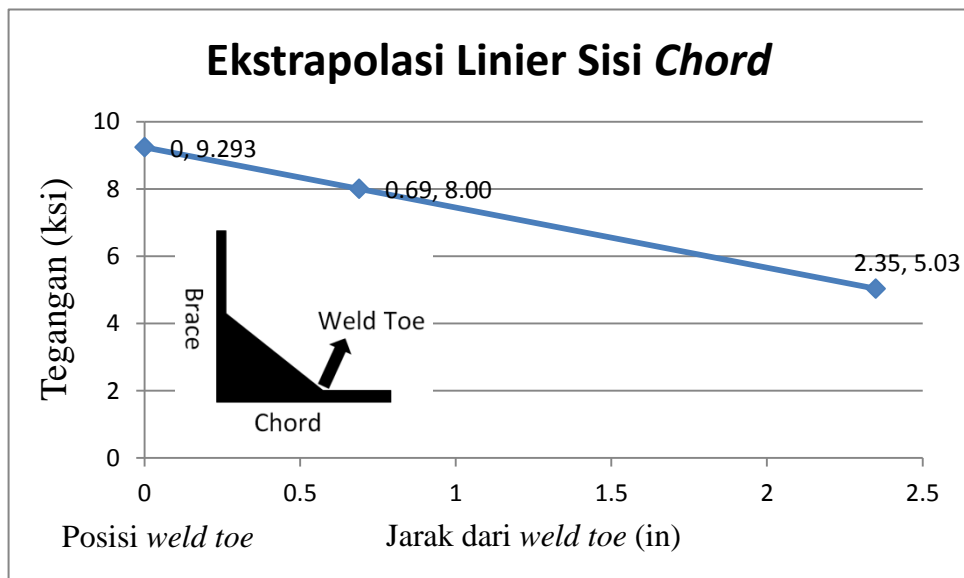
**Gambar 4.22** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan gaya aksial



Tegangan maksimum yang terjadi pada output *maximum principal stress* dijadikan sebagai ekstrapolasi linier untuk menentukan tegangan *hotspot* pada *brace* dan *chord*. Sedangkan tegangan nominal ditemukan pada titik dimana tegangan yang dihasilkan konstan. Tegangan nominal ini didapatkan dari *probe stress* di ANSYS. Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada *brace* dan *chord*.



**Gambar 4.23** Ekstrapolasi linier pada *brace* akibat gaya aksial



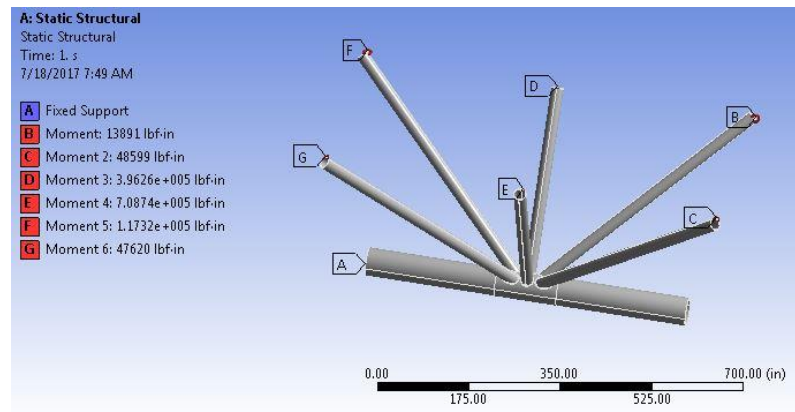
**Gambar 4.24** Ekstrapolasi linier pada *chord* akibat gaya aksial

Pada gambar di atas menunjukkan untuk sumbu y yaitu tegangan *maximum principal stress* dengan satuan ksi dan untuk sumbu x adalah jarak dari

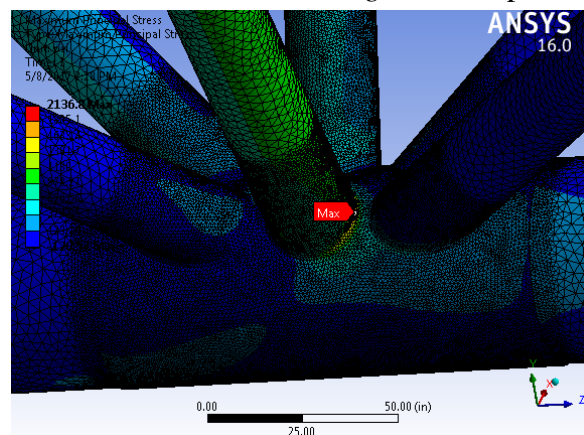
tegangan maksimum. Pada grafik di atas yang berwarna biru yang berada di titik 0 merupakan tegangan *hotspot* pada *brace* maupun *chord*. Dari Gambar 4.23, maka dapat diketahui bahwa tegangan *hotspot* pada sisi *brace* adalah 10,303ksi dan dari Gambar 4.24 dapat diketahui bahwa tegangan *hotspot* pada sisi *chord* adalah 9,293 ksi. Untuk 33 model yang lainnya juga dilakukan ekstrapolasi linier.

#### 4.5.2 Beban *Bending Moment*

Beban yang diberikan berupa *bending moment* pada keenam *brace* sesuai dengan data global pada struktur tersebut, dan pada bagian ujung *chord* diberikan *fixed support*. Hasil dari pembebanan ini menghasilkan tegangan *maximum principal stress*. Pengertian *maximum principal stress* sendiri adalah tegangan yang cenderung digunakan struktur dengan mengabaikan tegangan geser.



**Gambar 4.25** Pembebanan *bending moment* pada model

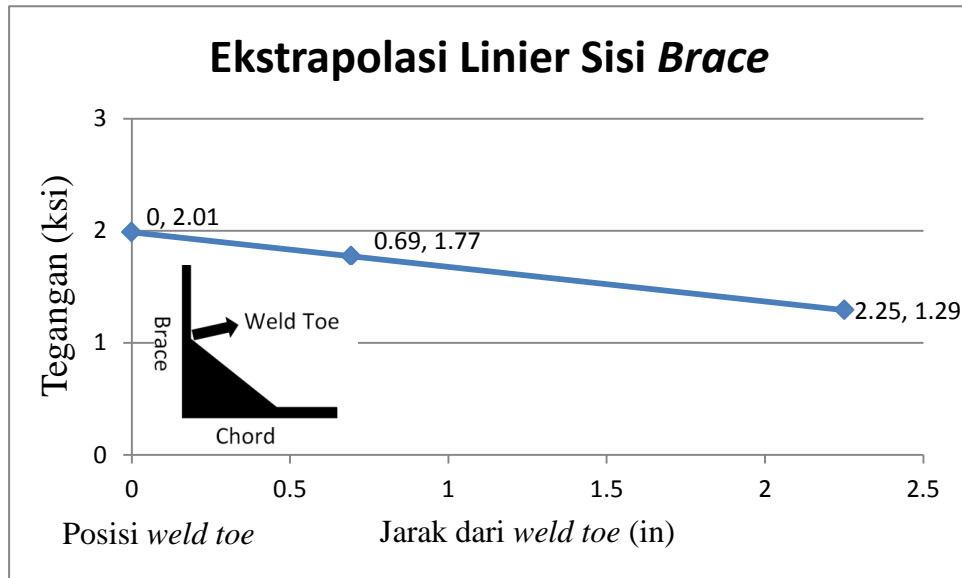


**Gambar 4.26** Hasil distribusi tegangan yang terjadi saat diberikan beban *bending moment*

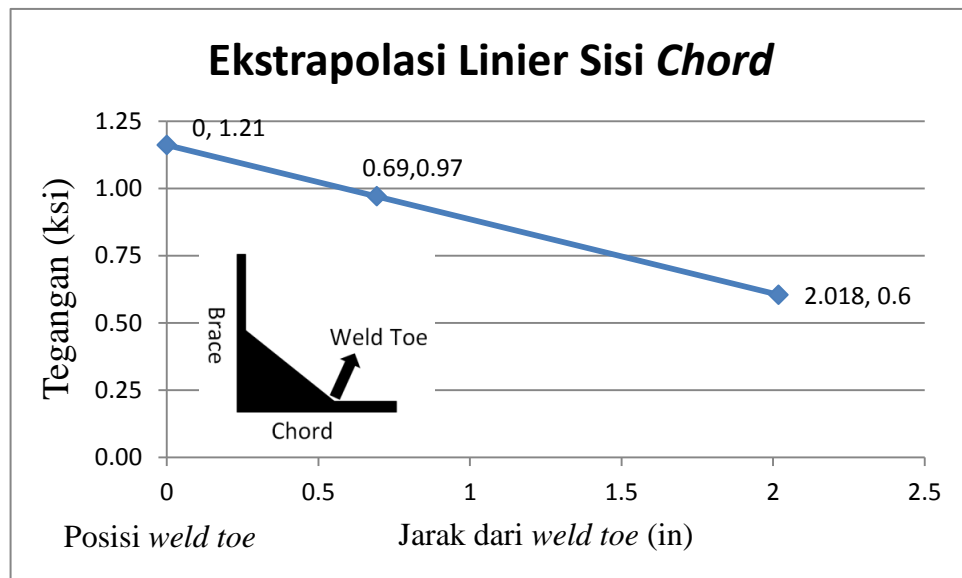
Tegangan maksimum yang terjadi pada output *maximum principal stress* dijadikan sebagai ekstrapolasi linier untuk menentukan tegangan *hotspot* pada



*brace* dan *chord*. Sedangkan tegangan nominal ditemukan pada titik dimana tegangan yang dihasilkan konstan. Tegangan nominal ini didapatkan dari *probe stress* di ANSYS. Berikut hasil distribusi ekstrapolasi linier tegangan yang terjadi pada *brace* dan *chord*.



**Gambar 4.27** Ekstrapolasi linier pada *brace* akibat beban *bending moment*



**Gambar 4.28** Ekstrapolasi linier pada *chord* akibat *bending moment*

Pada gambar dia atas menunjukkan untuk sumbu y yaitu tegangan *maximum principal stress* dengan satuan psi dan untuk sumbu x adalah jarak dari tegangan maksimum. Pada grafik dia atas yang bewarna biru yang berada di titik

0 merupakan tegangan *hotspot* pada *brace* maupun *chord*. Dari Gambar 4.27, maka dapat diketahui bahwa tegangan *hotspot* pada sisi *brace* adalah 2,01 ksi dan dari Gambar 4.28 dapat diketahui bahwa tegangan *hotspot* pada sisi *chord* adalah 1,21 ksi. Untuk 33 model yang lainnya juga dilakukan ekstrapolasi linier.

#### 4.6 Faktor Konsentrasi Tegangan (SCF)

Setelah tegangan *hotspot* dan tegangan nominal didapatkan, lalu mencari faktor konsentrasi tegangan yang didapatkan dari,

$$SCF = \sigma_{hotspot} / \sigma_{nominal} \quad (4.1)$$

Berikut hasil tegangan *hotspot*, deformasi dan nilai SCF yang terjadi pada *brace* dan *chord*:

##### 4.6.1 Faktor Konsentrasi Tegangan Akibat Beban Aksial

Hasil tegangan *hotspot*, tegangan nominal, besarnya SCF yang terjadi pada *brace* akibat gaya aksial adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.5** SCF *Brace* Akibat Beban Aksial

Model No	HSS	Tegangan Nominal	SCF <sub>Brace</sub>	Posisi HSS
1	7,707	0,620	12,43	Brace CVH-Outer Saddle
2	7,958	0,629	12,65	Brace CVH-Outer Saddle
3	8,024	0,623	12,88	Brace CVH-Outer Saddle
4	8,223	0,633	12,98	Brace CVH-Outer Saddle
5	8,346	0,615	13,57	Brace CVH-Outer Saddle
6	8,446	0,612	13,81	Brace CVH-Outer Saddle
7	8,646	0,605	14,29	Brace CVH-Outer Saddle
8	8,861	0,607	14,61	Brace CVH-Outer Saddle
9	9,089	0,587	15,48	Brace CVH-Outer Saddle
10	9,657	0,600	16,10	Brace CVH-Outer Saddle
11	9,994	0,632	15,81	Brace CVH-Outer Saddle
12	10,183	0,647	15,74	Brace CVH-Outer Saddle
13	10,024	0,585	17,15	Brace CVH-Outer Saddle
14	10,061	0,584	17,22	Brace CVH-Outer Saddle
15	10,303	0,585	17,62	Brace CVH-Outer Saddle
16	10,429	0,582	17,91	Brace CVH-Outer Saddle
17	10,600	0,577	18,37	Brace CVH-Outer Saddle
18	11,033	0,573	19,25	Brace CVH-Outer Saddle
19	12,406	0,635	19,54	Brace CVH-Outer Saddle

**Tabel 4.5** SCF *Brace* Akibat Beban Aksial (lanjutan)

Model No	HSS	Tegangan Nominal	SCF <sub>Brace</sub>	Posisi HSS
20	9,237	0,543	17,01	Brace CVH-Outer Saddle
21	10,009	0,588	17,02	Brace CVH-Outer Saddle
22	10,143	0,588	17,25	Brace CVH-Outer Saddle
23	14,715	0,721	20,41	Brace CVH-Outer Saddle
24	11,879	0,613	19,38	Brace CVH-Outer Saddle
25	9,487	0,556	17,06	Brace CVH-Outer Saddle
26	6,560	0,496	13,23	Brace CVH-Outer Saddle
27	8,594	0,528	16,28	Brace CVH-Outer Saddle
28	10,081	0,570	17,69	Brace CVH-Outer Saddle
29	10,642	0,784	13,57	Brace CVH-Outer Saddle
30	9,946	0,643	15,47	Brace CVH-Outer Saddle
31	9,383	0,491	19,11	Brace CVH-Outer Saddle
32	6,349	0,412	15,41	Brace CVH-Outer Saddle
33	9,230	0,521	17,71	Brace CVH-Outer Saddle
34	13,977	0,787	17,76	Brace CVH-Outer Saddle

Sedangkan untuk hasil tegangan *hotspot*, tegangan nominal, besarnya SCF dan yang terjadi pada *chord* akibat gaya aksial adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.6** SCF *Chord* Akibat Beban Aksial

Model No	HSS	Tegangan Nominal	SCF <sub>Chord</sub>	Posisi HSS
1	7,190	1,589	4,52	Brace CVH-Outer Saddle
2	7,457	1,564	4,77	Brace CVH-Outer Saddle
3	7,626	1,552	4,91	Brace CVH-Outer Saddle
4	7,863	1,543	5,10	Brace CVH-Outer Saddle
5	8,021	1,525	5,26	Brace CVH-Outer Saddle
6	8,203	1,521	5,39	Brace CVH-Outer Saddle
7	8,578	1,534	5,59	Brace CVH-Outer Saddle
8	8,414	1,500	5,61	Brace CVH-Outer Saddle
9	9,378	1,675	5,60	Brace CVH-Outer Saddle
10	9,358	1,631	5,74	Brace CVH-Outer Saddle
11	9,670	1,634	5,92	Brace CVH-Outer Saddle
12	9,991	1,612	6,20	Brace CVH-Outer Saddle
13	9,573	1,517	6,31	Brace CVH-Outer Saddle
14	10,410	1,534	6,79	Brace CVH-Outer Saddle
15	9,293	1,356	6,85	Brace CVH-Outer Saddle
16	10,991	1,526	7,20	Brace CVH-Outer Saddle
17	10,079	1,365	7,38	Brace CVH-Outer Saddle
18	11,821	1,589	7,44	Brace CVH-Outer Saddle

**Tabel 4.6** SCF *Chord* Akibat Beban Aksial (lanjutan)

Model No	HSS	Tegangan Nominal	SCF <sub>Chord</sub>	Posisi HSS
19	12,547	1,587	7,91	Brace CVH-Outer Saddle
20	10,497	1,500	7,00	Brace CVH-Outer Saddle
21	10,775	1,552	6,94	Brace CVH-Outer Saddle
22	10,630	1,534	6,93	Brace CVH-Outer Saddle
23	14,915	1,967	7,58	Brace CVH-Outer Saddle
24	12,262	1,656	7,40	Brace CVH-Outer Saddle
25	10,233	1,531	6,68	Brace CVH-Outer Saddle
26	7,06	1,345	5,22	Brace CVH-Outer Saddle
27	8,853	1,423	6,22	Brace CVH-Outer Saddle
28	11,794	1,643	7,18	Brace CVH-Outer Saddle
29	10,557	2,073	5,09	Brace CVH-Outer Saddle
30	10,419	1,643	6,34	Brace CVH-Outer Saddle
31	10,620	1,410	7,53	Brace CVH-Outer Saddle
32	6,738	1,200	5,62	Brace CVH-Outer Saddle
33	9,753	1,400	6,97	Brace CVH-Outer Saddle
34	13,269	1,857	7,15	Brace CVH-Outer Saddle

#### 4.6.2 Faktor Konsentrasi Tegangan Akibat *Bending Moment*

Hasil tegangan *hotspot*, tegangan nominal, besarnya SCF yang terjadi pada *brace* akibat beban momen adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.7** SCF *Brace* Akibat *Bending moment*

Model No	HSS	Tegangan Nominal	SCF <sub>Brace</sub>	Posisi HSS
1	2,19	1,51	1,45	Brace CC2-Crown
2	2,20	1,47	1,49	Brace CC2-Crown
3	2,17	1,44	1,51	Brace CC2-Crown
4	2,30	1,40	1,65	Brace CC2-Crown
5	2,15	1,36	1,58	Brace CC2-Crown
6	2,11	1,33	1,58	Brace CC2-Crown
7	2,11	1,30	1,62	Brace CC2-Crown
8	2,10	1,27	1,65	Brace CC2-Crown
9	2,12	1,24	1,71	Brace CC2-Crown
10	2,22	1,21	1,84	Brace CC2-Crown
11	1,93	1,12	1,73	Brace CC2-Crown
12	2,13	1,16	1,84	Brace CC2-Crown
13	2,10	1,13	1,86	Brace CC2-Crown
14	1,93	1,01	1,92	Brace CC2-Crown

**Tabel 4.7** SCF *Brace* Akibat *Bending moment* (lanjutan)

Model No	HSS	Tegangan Nominal	SCF <sub>Brace</sub>	Posisi HSS
15	2,01	1,01	2,00	Brace CC2-Crown
16	2,04	1,00	2,03	Brace CC2-Crown
17	1,88	0,90	2,09	Brace CC2-Crown
18	2,09	0,98	2,15	Brace CC2-Crown
19	2,06	0,93	2,21	Brace CC2-Crown
20	2,19	1,08	2,03	Brace CC2-Crown
21	2,10	1,08	1,95	Brace CC2-Crown
22	2,26	1,08	2,09	Brace CC2-Crown
23	3,54	1,81	1,96	Brace CC2-Crown
24	2,64	1,35	1,96	Brace CC2-Crown
25	2,07	1,05	1,97	Brace CC2-Crown
26	1,70	0,93	1,83	Brace CC2-Crown
27	2,02	0,97	2,07	Brace CC2-Crown
28	2,38	1,18	2,01	Brace CC2-Crown
29	2,35	1,33	1,77	Brace CC2-Crown
30	2,26	1,18	1,91	Brace CC2-Crown
31	2,10	1,00	2,11	Brace CC2-Crown
32	2,15	1,08	1,99	Brace CC2-Crown
33	2,16	1,08	2,00	Brace CC2-Crown
34	2,19	1,08	2,03	Brace CC2-Crown

Sedangkan untuk hasil tegangan *hotspot*, tegangan nominal, besarnya SCF dan yang terjadi pada *chord* akibat gaya aksial adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.8** SCF *Chord* Akibat *Bending moment*

Model No	HSS	Tegangan Nominal	SCF <sub>Chord</sub>	Posisi HSS
1	1,35	0,31	4,31	Brace CC2-Crown
2	1,32	0,32	4,16	Brace CC2-Crown
3	1,30	0,30	4,37	Brace CC2-Crown
4	1,53	0,35	4,43	Brace CC2-Crown
5	1,42	0,32	4,44	Brace CC2-Crown
6	1,60	0,32	4,66	Brace CC2-Crown
7	1,46	0,32	4,59	Brace CC2-Crown
8	1,49	0,31	4,74	Brace CC2-Crown
9	1,44	0,29	5,03	Brace CC2-Crown
10	1,38	0,27	5,14	Brace CC2-Crown
11	1,29	0,25	5,17	Brace CC2-Crown
12	1,47	0,28	5,23	Brace CC2-Crown

**Tabel 4.8** SCF *Chord* Akibat *Bending moment* (lanjutan)

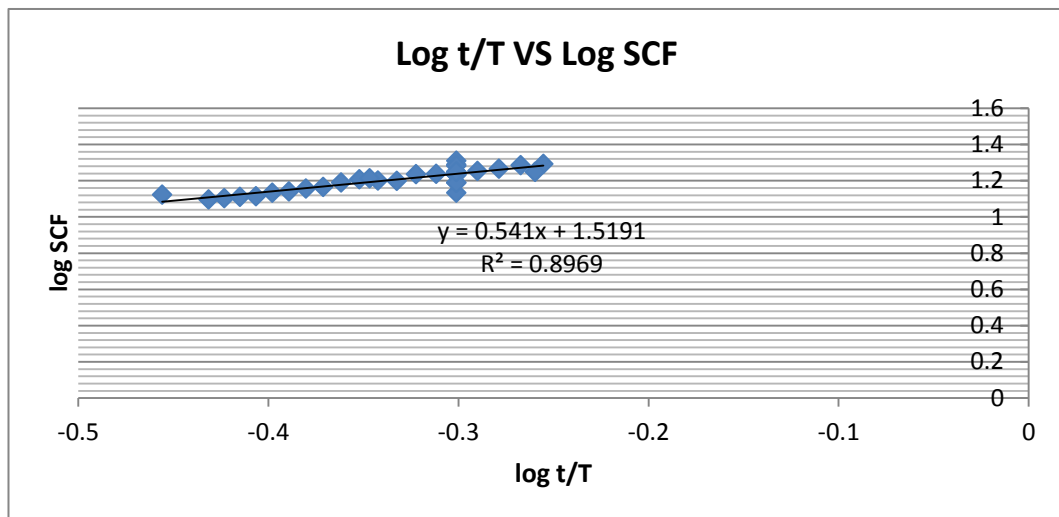
Model No	HSS	Tegangan Nominal	SCF <sub>Chord</sub>	Posisi HSS
13	1,37	0,26	5,23	Brace CC2-Crown
14	1,30	0,25	5,14	Brace CC2-Crown
15	1,21	0,23	5,24	Brace CC2-Crown
16	1,33	0,24	5,51	Brace CC2-Crown
17	1,33	0,23	5,71	Brace CC2-Crown
18	1,39	0,25	5,64	Brace CC2-Crown
19	1,38	0,23	5,97	Brace CC2-Crown
20	1,43	0,25	5,69	Brace CC2-Crown
21	1,51	0,29	5,19	Brace CC2-Crown
22	1,51	0,29	5,22	Brace CC2-Crown
23	2,41	0,40	6,02	Brace CC2-Crown
24	1,82	0,34	5,40	Brace CC2-Crown
25	1,44	0,27	5,26	Brace CC2-Crown
26	1,28	0,24	5,30	Brace CC2-Crown
27	1,21	0,23	5,24	Brace CC2-Crown
28	1,57	0,29	4,46	Brace CC2-Crown
29	1,52	0,36	4,24	Brace CC2-Crown
30	1,44	0,29	4,91	Brace CC2-Crown
31	1,51	0,24	5,23	Brace CC2-Crown
32	1,50	0,32	4,76	Brace CC2-Crown
33	1,50	0,28	5,33	Brace CC2-Crown
34	1,45	0,26	5,65	Brace CC2-Crown

#### 4.7 Perumusan Persamaan SCF Sambungan *Tubular Multi-planar Double KT*

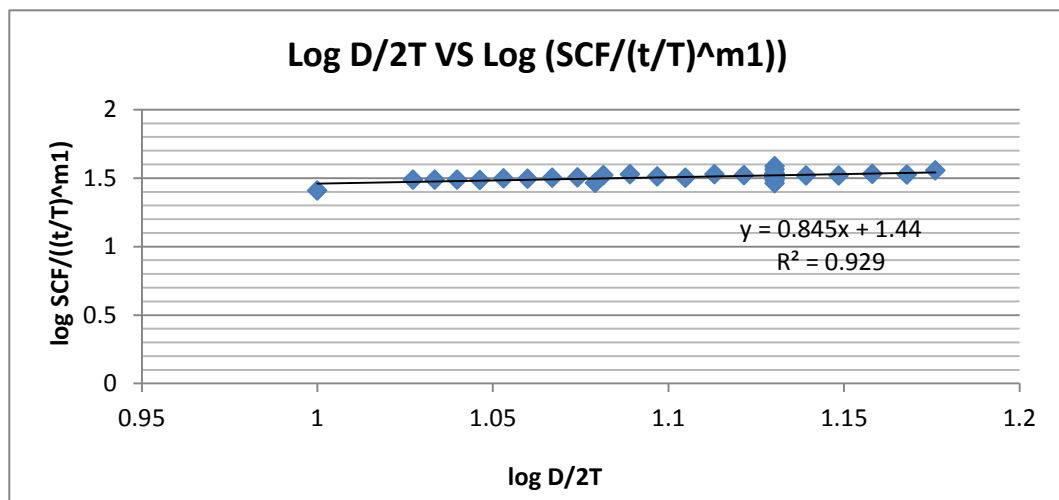
Penjelasan secara detail proses pembuatan rumus SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* sudah dijelaskan dalam metodologi penelitian, sehingga dalam pembahasan kali ini akan langsung ditampilkan hasil dari perhitungannya saja. Perumusan persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *brace* akibat beban aksial akan dijelaskan paling detail. Untuk penjelasan lebih detail, dapat dilihat pada lampiran.

Berikut ini proses pembuatan rumus SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *brace* akibat beban aksial adalah :

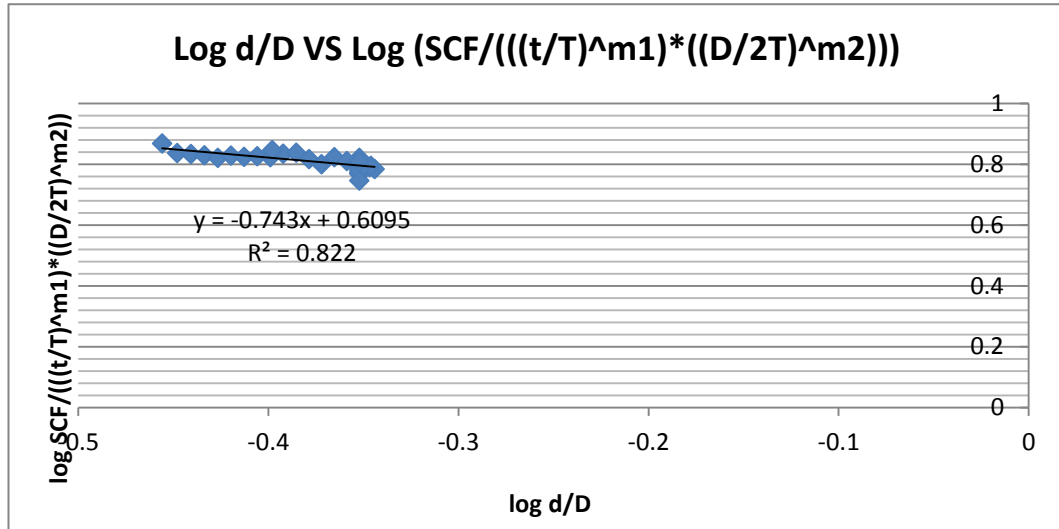
1. Langkah a ditunjukkan Gambar 4.29 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m1 = 0,541$
2. Langkah b ditunjukkan Gambar 4.30 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m2 = 0,845$
3. Langkah c ditunjukkan Gambar 4.31 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m3 = -0,743$
4. Langkah d ditunjukkan Gambar 4.32 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m4 = 0,132$
5. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (gambar 4.29), yaitu  $c = 1,5191$ .



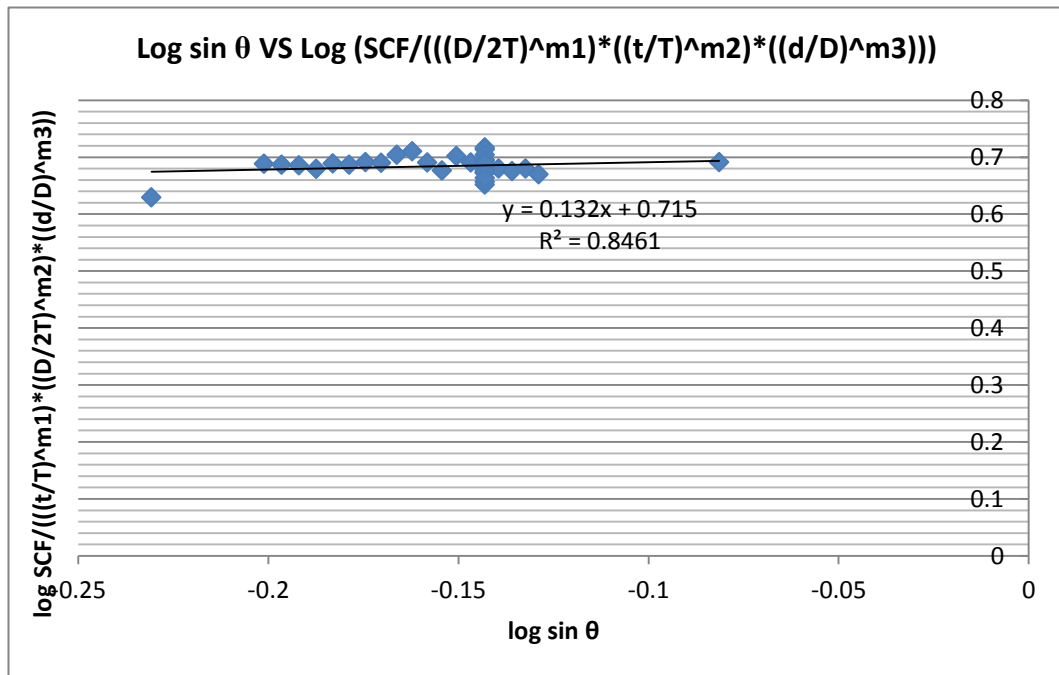
**Gambar 4.29** Plot Langkah a



**Gambar 4.30** Plot Langkah b



Gambar 4.31 Plot Langkah c



Gambar 4.32 Plot Langkah d

Sehingga persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *brace* akibat beban aksial adalah :

$$SCF_{\text{Brace}} = 1,5191 \cdot \beta^{-0,743} \cdot \gamma^{0,845} \cdot \tau^{0,541} (\sin \theta)^{0,132} \quad (4.2)$$

Dengan cara yang sama, didapatkan persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *chord* akibat beban aksial adalah :

$$SCF_{\text{Chord}} = 1,141 \cdot \beta^{-0,567} \cdot \gamma^{0,7045} \cdot \tau^{0,682} (\sin \theta)^{0,275} \quad (4.3)$$

Persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *brace* akibat beban momen adalah :



$$SCF_{Brace} = 0,4576 \cdot \beta^{0,1256} \cdot \gamma^{0,781} \cdot \tau^{0,5864} (\sin \theta)^{0,0074} \quad (4.4)$$

Persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *chord* akibat beban momen adalah :

$$SCF_{Chord} = 0,7494 \cdot \beta^{-0,3225} \cdot \gamma^{0,7745} \cdot \tau^{0,1455} (\sin \theta)^{0,5929} \quad (4.5)$$

#### 4.8 Perbandingan SCF Hasil dari Persamaan SCF Baru dengan SCF Hasil dari Analisis Metode Elemen Hingga

Selanjutnya setelah mendapatkan persamaan SCF sambungan *tubular multi-planar double KT*, maka akan dilakukan pengecekan terhadap persamaan SCF untuk mengetahui akurasi dan tingkat kesalahannya. Pengecekan dilakukan dengan membandingkan hasil dari perhitungan persamaan SCF dengan hasil dari analisis metode elemen hingga. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan dalam melakukan pengecekan:

$$\%Error = [SCF_{formula} - SCF_{FEA}] / SCF_{formula} \times 100\% \quad (4.6)$$

Berikut ini adalah tabel hasil pengecekan:

**Tabel 4.9** Pengecekan Rumus SCF Akibat Gaya Aksial

No Joint	Pengecekan persamaan SCF					
	Beban aksial					
	<i>Chord</i>			<i>Brace</i>		
	SCF <sub>formula</sub>	SCF <sub>FEA</sub>	%error	SCF <sub>formula</sub>	SCF <sub>FEA</sub>	%error
1	4,85	4,52	6,66	13,26	12,43	6,25
2	4,93	4,77	3,22	13,41	12,65	5,70
3	5,01	4,91	1,95	13,57	12,88	5,13
4	5,10	5,10	0,07	13,74	12,98	5,52
5	5,19	5,26	1,30	13,92	13,57	2,51
6	5,29	5,39	1,95	14,12	13,81	2,17
7	5,39	5,59	3,71	14,32	14,29	0,23
8	5,50	5,61	2,00	14,53	14,61	0,50
9	5,61	5,60	0,25	14,76	15,48	4,86
10	5,73	5,74	0,11	15,01	16,10	7,26
11	5,86	5,92	1,03	15,26	15,81	3,58
12	5,99	6,20	3,47	15,54	15,74	1,29
13	6,13	6,31	2,93	15,83	17,15	8,32
14	6,28	6,79	8,08	16,14	17,22	6,71
15	6,44	6,85	6,47	16,47	17,62	7,00
16	6,64	7,20	8,43	16,95	17,91	5,68
17	6,86	7,38	7,62	17,46	18,37	5,23
18	7,09	7,44	4,89	18,00	19,25	6,93
19	7,34	7,91	7,72	18,58	19,54	5,15

**Tabel 4.9** Pengecekan Rumus SCF Akibat Gaya Aksial (lanjutan)

No Joint	Pengecekan persamaan SCF					
	Beban aksial					
	<i>Chord</i>			<i>Brace</i>		
	SCF <sub>formula</sub>	SCF <sub>FEA</sub>	%error	SCF <sub>formula</sub>	SCF <sub>FEA</sub>	%error
20	6,44	7,00	8,72	16,47	17,01	3,29
21	6,44	6,94	7,86	16,47	17,02	3,36
22	6,44	6,93	7,66	16,47	17,25	4,75
23	7,37	7,58	2,88	19,67	20,41	3,77
24	6,83	7,40	8,37	17,81	19,38	8,81
25	6,39	6,68	4,58	16,32	17,06	4,57
26	5,05	5,22	3,51	13,58	13,23	2,59
27	5,99	6,22	3,85	15,56	16,28	4,63
28	6,87	7,18	4,51	17,34	17,69	2,00
29	5,21	5,09	2,25	12,78	13,57	6,22
30	5,92	6,34	7,05	14,91	15,47	3,76
31	6,93	7,53	8,65	18,00	19,11	6,16
32	6,09	5,62	7,77	16,04	15,41	3,90
33	6,44	6,97	8,24	16,47	17,71	7,52
34	6,69	7,15	6,76	16,78	17,76	5,84
Error rata-rata			4,33	Error rata-rata		4,56

**Tabel 4.10** Pengecekan Rumus SCFAkibat *Bending Moment*

No Joint	Pengecekan persamaan SCF					
	Beban <i>Bending Moment</i>					
	<i>Chord</i>			<i>Brace</i>		
	SCF <sub>formula</sub>	SCF <sub>FEA</sub>	%error	SCF <sub>formula</sub>	SCF <sub>FEA</sub>	%error
1	4,29	4,31	0,31	1,42	1,45	2,02
2	4,36	4,16	4,45	1,45	1,49	2,65
3	4,42	4,37	1,20	1,49	1,51	1,21
4	4,49	4,43	1,40	1,53	1,65	7,80
5	4,56	4,44	2,77	1,57	1,58	0,60
6	4,64	4,66	0,63	1,61	1,58	1,59
7	4,71	4,59	2,48	1,65	1,62	2,00
8	4,79	4,74	1,06	1,70	1,65	2,71
9	4,87	5,03	3,22	1,75	1,71	2,32
10	4,96	5,14	3,74	1,80	1,84	2,14
11	5,04	5,17	2,47	1,85	1,73	6,79
12	5,14	5,23	1,94	1,91	1,84	3,83
13	5,23	5,23	0,10	1,97	1,86	5,66
14	5,33	5,14	3,52	2,03	1,92	5,40
15	5,43	5,24	3,49	2,10	2,00	4,83
16	5,56	5,51	0,84	2,16	2,03	6,00
17	5,69	5,71	0,30	2,24	2,09	6,40
18	5,83	5,64	3,33	2,31	2,15	7,17
19	5,98	5,97	0,21	2,39	2,21	7,65

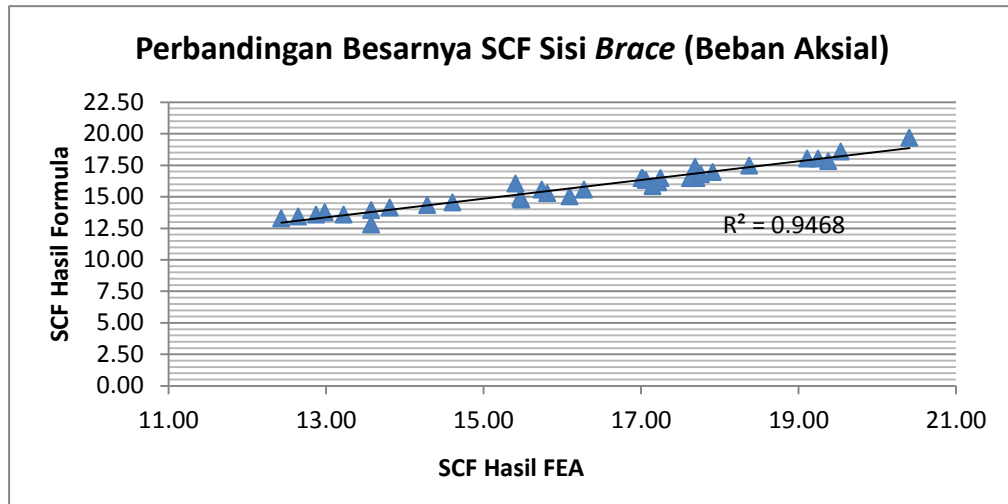
**Tabel 4.10** Pengecekan Rumus SCFAkibat *Bending Moment* (lanjutan)

No Joint	Pengecekan persamaan SCF					
	Beban <i>Bending Moment</i>					
	<i>Chord</i>			<i>Brace</i>		
	SCF <sub>formula</sub>	SCF <sub>FEA</sub>	%error	SCF <sub>formula</sub>	SCF <sub>FEA</sub>	%error
20	5,43	5,69	4,72	2,10	2,03	3,36
21	5,43	5,19	4,50	2,10	1,95	7,16
22	5,43	5,22	3,88	2,10	2,09	0,18
23	5,87	6,02	2,61	2,03	1,96	3,65
24	5,62	5,40	3,86	2,07	1,96	5,47
25	5,41	5,26	2,81	2,10	1,97	6,15
26	5,16	5,30	2,68	1,70	1,83	7,55
27	5,35	5,24	2,01	1,97	2,07	5,08
28	5,51	5,46	0,84	2,22	2,01	9,17
29	4,31	4,24	1,65	1,66	1,77	6,54
30	4,96	4,91	1,05	1,91	1,91	0,08
31	5,90	6,23	5,69	2,28	2,11	7,45
32	4,82	4,76	1,35	2,09	1,99	4,89
33	5,43	5,33	1,92	2,10	2,00	4,82
34	5,91	5,65	4,44	2,10	2,03	3,24
Error rata-rata			2,40	Error rata-rata		4,52

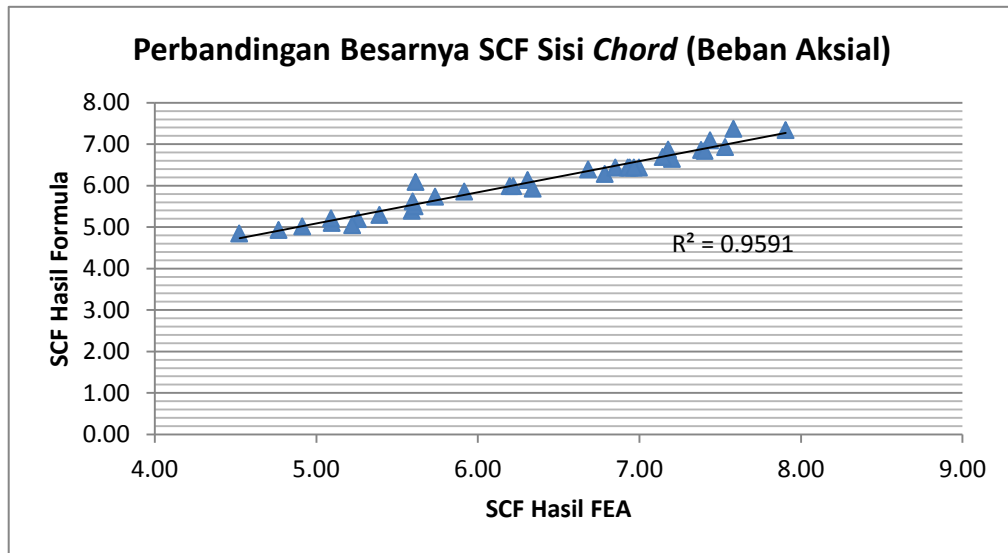
Pada Tabel 4.9 dan 4.10, terlihat bahwa hasil SCF menggunakan persamaan SCF baru memiliki besar yang relatif cukup dekat terhadap analisis dengan menggunakan metode elemen hingga. Hal ini ditunjukkan dengan *error* pada semua model masih berada dibawah 10%, sedangkan *error* rata-rata untuk semua kasus masih berada dibawah 5%.

Selain melakukan pengecekan dengan melihat %errornya, validasi rumus SCF baru juga dilakukan dengan melakukan plot grafik antara SCF hasil dari rumus baru dengan SCF hasil dari analisis elemen hingga untuk mengetahui hubungan atau korelasi dari kedua hasil SCF tersebut. Dengan sumbu horizontal menunjukkan besarnya SCF hasil dari analisis elemen hingga, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan besarnya SCF hasil dari rumus.

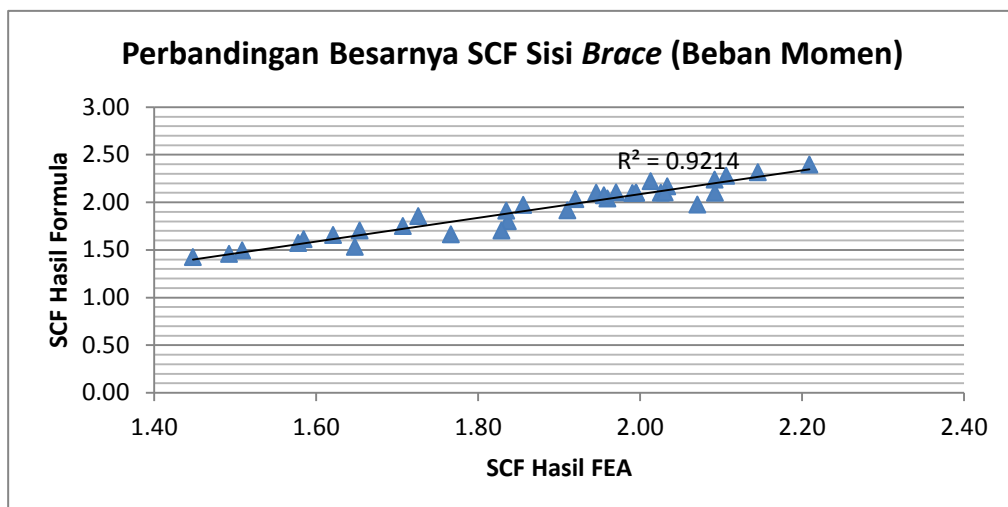
Dari Gambar 4.33 menunjukkan bahwa besarnya SCF hasil dari rumus baru yang dibandingkan dengan besarnya SCF hasil dari analisis elemen hingga, keduanya memiliki hubungan atau korelasi yang sangat baik. Korelasi yang sangat baik ditunjukkan dengan besarnya koefisien korelasi untuk semua kondisi pembebanan masih berada pada nilai diatas 0,9.



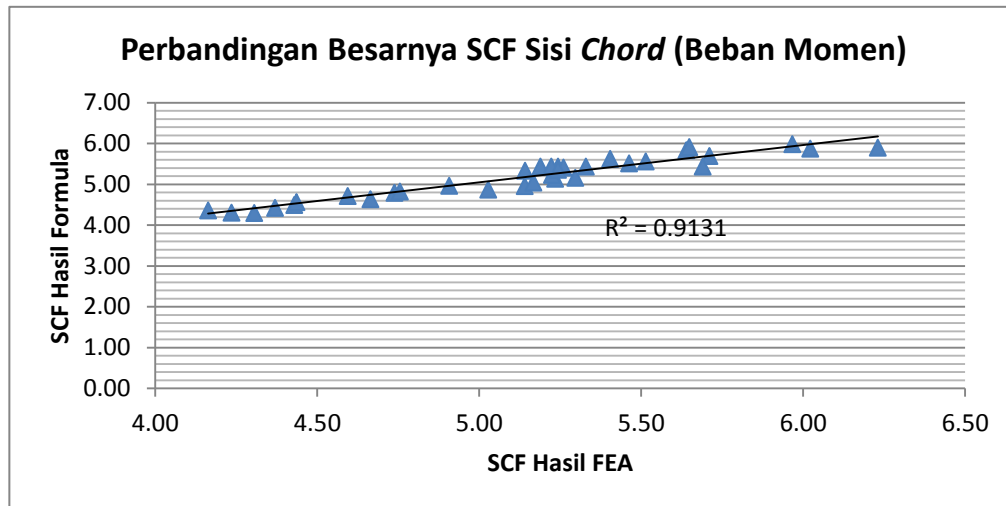
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.33** Perbandingan besarnya SCF hasil dari rumus baru dengan SCF hasil dari analisis elemen hingga (a) sisi *brace* akibat beban aksial, (b) sisi *chord* akibat beban aksial, (c) sisi *brace* akibat beban momen, (d) sisi *chord* akibat beban momen

#### 4.9 Pengaruh Parameter Non-dimensional Terhadap SCF

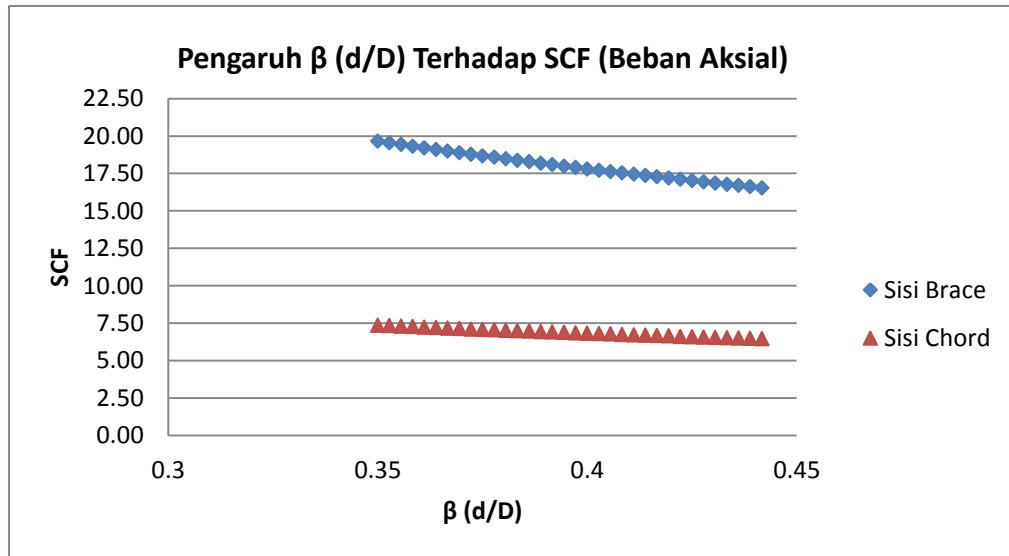
Plot grafik besarnya SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* yang diperoleh dari formula baru terhadap fungsi dari parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$  dan  $\theta$  akan memberikan gambaran pengaruh parameter  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$  dan  $\theta$  terhadap distribusi SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* yang diperoleh dari formula baru.

Dengan mengetahui pengaruh dari parameter nondimesinal ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\tau$  dan  $\theta$ ) terhadap besarnya SCF, maka akan sangat bermanfaat dalam tahap desain guna menentukan geometri struktur dari sambungan *tubular multiplanar double KT*.

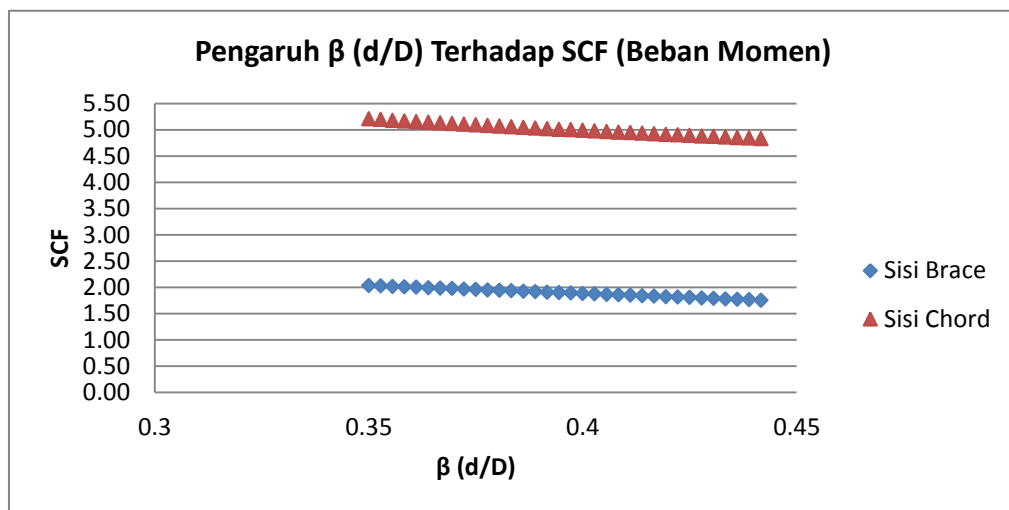
##### 4.9.1 Pengaruh Parameter $\beta$ (d/D) Terhadap SCF

Grafik SCF hasil dari persamaan SCF terhadap fungsi dari parameter  $\beta$  untuk kasus beban aksial dan momen pada sisi *chord* dan sisi *brace* dapat dilihat pada Gambar 4.34. Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\beta$  maka akan semakin kecil SCF hasil dari persamaan SCF baru. Hal ini disebabkan karena semakin besar parameter  $\beta$  dari sambungan yang mempunyai diameter chord yang dibuat sama, maka menyebabkan semakin besar diameter brace. Diameter brace yang semakin besar dengan ketebalan yang tetap

menyebabkan brace semakin kaku. Karena brace semakin kaku maka besarnya tegangan akan semakin menurun. Karena besarnya tegangan menurun maka besarnya SCF juga akan menurun. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Lotfollahiyaghin, 2011).



(a)



(b)

**Gambar 4.34** Pengaruh parameter  $\beta$  terhadap SCF (a) akibat beban aksial,  
(b) akibat beban momen

Dari Gambar 4.34 menunjukkan bahwa pengaruh parameter  $\beta$  untuk kasus pembebanan gaya aksial adalah besarnya SCF pada sisi *brace* lebih besar daripada besarnya SCF sisi *chord*. Sedangkan pengaruh parameter  $\beta$  untuk kasus

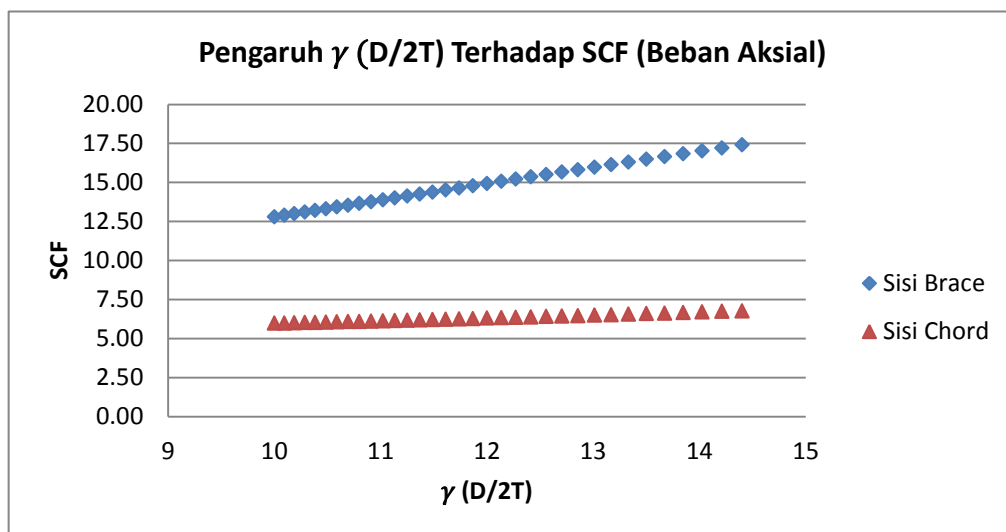
pembebanan momen adalah besarnya SCF pada sisi *chord* lebih besar daripada besarnya SCF sisi *brace*.

Hasil dari perhitungan variasi parameter  $\beta$  membentuk garis linier dengan kecuraman yang berbeda. Semakin curam garis linier, maka akan semakin sensitif terhadap besarnya SCF. Dari Gambar 4.34 menunjukkan bahwa sensitifitas sisi *brace* lebih besar daripada sensitifitas sisi *chord* terhadap besarnya SCF untuk kasus pembebanan gaya aksial. Sedangkan untuk kasus pembebanan momen menunjukkan hasil yang sebaliknya.

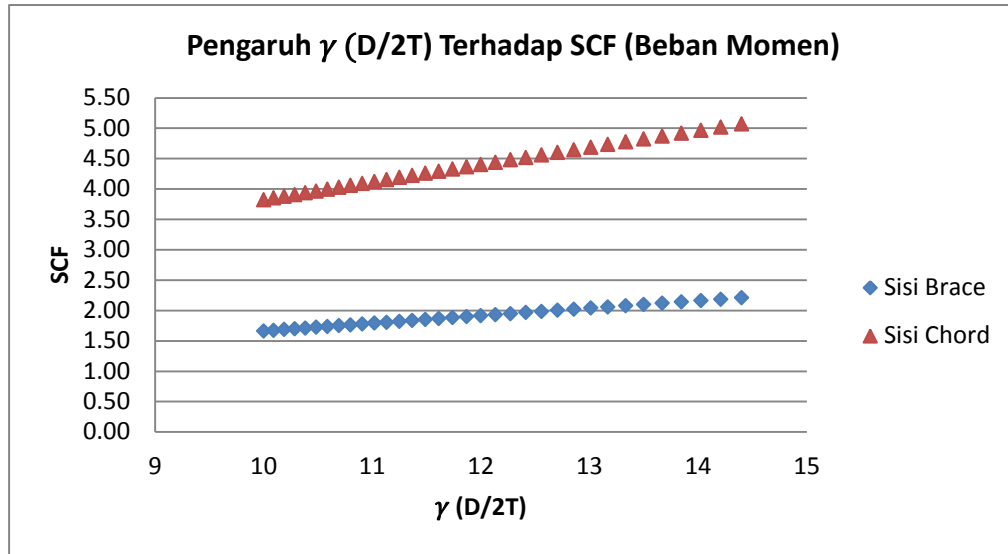
#### 4.9.2 Pengaruh Parameter $\gamma$ (D/2T) Terhadap SCF

Grafik SCF terhadap fungsi dari parameter  $\gamma$  dapat dilihat pada Gambar 4.35. Hasil investigasi menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\gamma$  maka akan semakin besar juga SCF hasil dari persamaan SCF baru. Hal ini disebabkan karena semakin besar parameter  $\gamma$  menunjukkan *chord* yang lebih lentur sehingga mempengaruhi besarnya SCF. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Lotfollahiyaghin, 2011).

Dari Gambar 4.35 menunjukkan bahwa pengaruh parameter  $\gamma$  untuk kasus pembebanan gaya aksial adalah besarnya SCF pada sisi *brace* lebih besar daripada besarnya SCF sisi *chord*. Sedangkan pengaruh parameter  $\gamma$  untuk kasus pembebanan momen adalah besarnya SCF pada sisi *chord* lebih besar daripada besarnya SCF sisi *brace*.



(a)



(b)

**Gambar 4.35** Pengaruh parameter  $\gamma$  terhadap SCF (a) akibat beban aksial,  
(b) akibat beban momen

Hasil dari perhitungan variasi parameter  $\gamma$  membentuk garis linier dengan kecuraman yang berbeda. Semakin curam garis linier, maka akan semakin sensitif terhadap besarnya SCF. Dari Gambar 4.35 menunjukkan bahwa sensitifitas sisi *brace* lebih besar daripada sensitifitas sisi *chord* terhadap besarnya SCF untuk kasus pembebanan gaya aksial. Sedangkan untuk kasus pembebanan momen menunjukkan hasil yang sebaliknya.

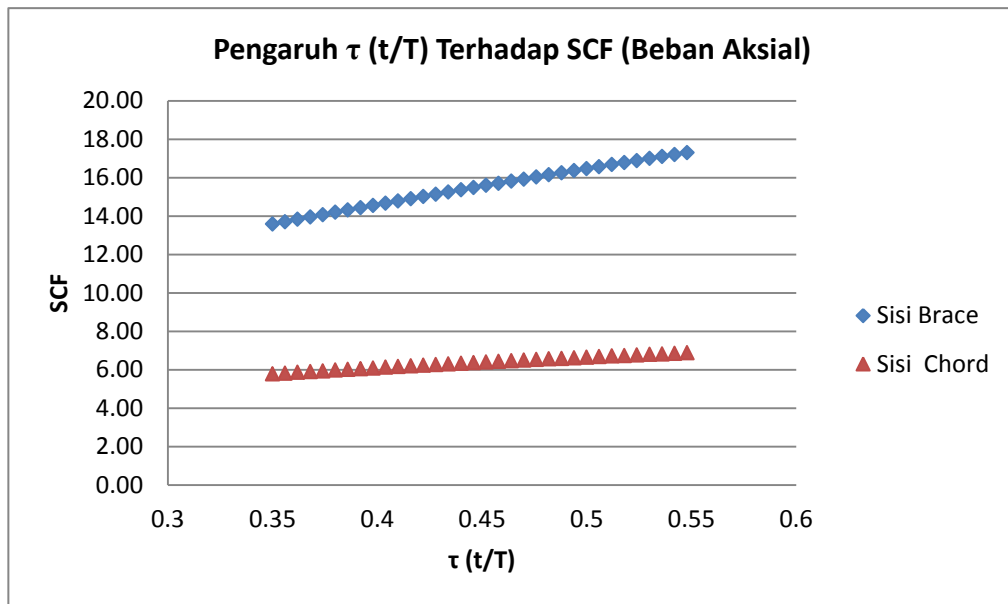
#### 4.9.3 Pengaruh Parameter $\tau (t/T)$ Terhadap SCF

Grafik SCF hasil dari persamaan SCF terhadap fungsi dari parameter  $\tau$  dapat dilihat pada Gambar 4.36. Dari Gambar 4.36 terlihat bahwa semakin besar parameter  $\tau$  maka akan semakin besar pula SCF hasil dari persamaan SCF baru. Hal ini disebabkan karena semakin besar parameter  $\tau$  menunjukkan semakin tebal ketebalan *brace* yang mengakibatkan *brace* semakin kaku, maka mempengaruhi besarnya SCF.

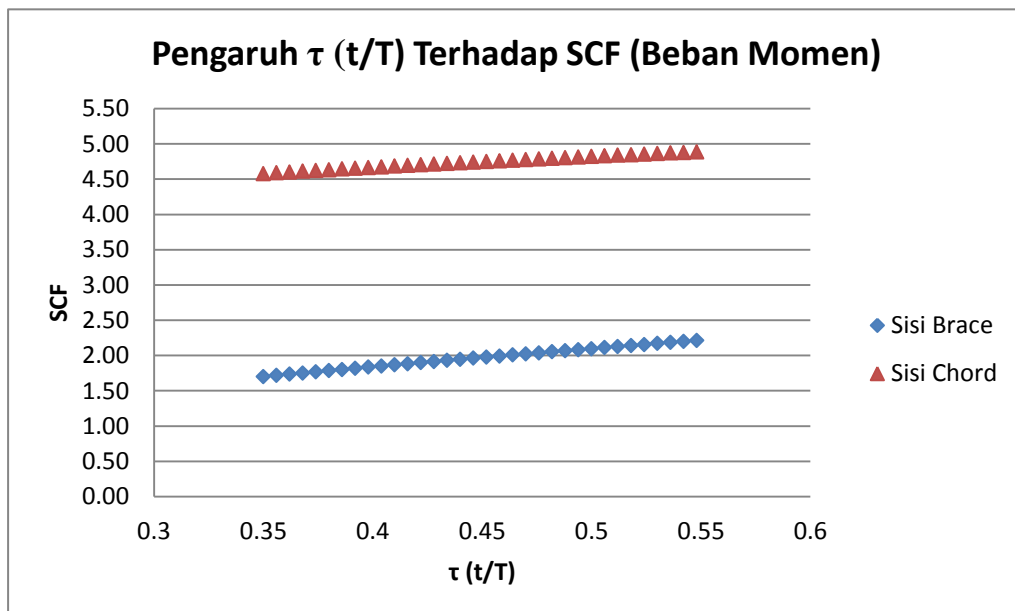
Dari Gambar 4.36 menunjukkan bahwa pengaruh parameter  $\tau$  untuk kasus pembebanan gaya aksial adalah besarnya SCF pada sisi *brace* lebih besar daripada besarnya SCF sisi *chord*. Sedangkan pengaruh parameter  $\tau$  untuk kasus pembebanan momen adalah besarnya SCF pada sisi *chord* lebih besar daripada besarnya SCF sisi *brace*.



Hasil dari perhitungan variasi parameter  $\tau$  membentuk garis linier dengan kecuraman yang berbeda. Semakin curam garis linier, maka akan semakin sensitif terhadap besarnya SCF. Dari Gambar 4.36 menunjukkan bahwa sensitifitas sisi *brace* lebih besar daripada sensitifitas sisi *chord* terhadap besarnya SCF untuk kasus pembebanan gaya aksial dan untuk kasus pembebanan gaya momen.



(a)

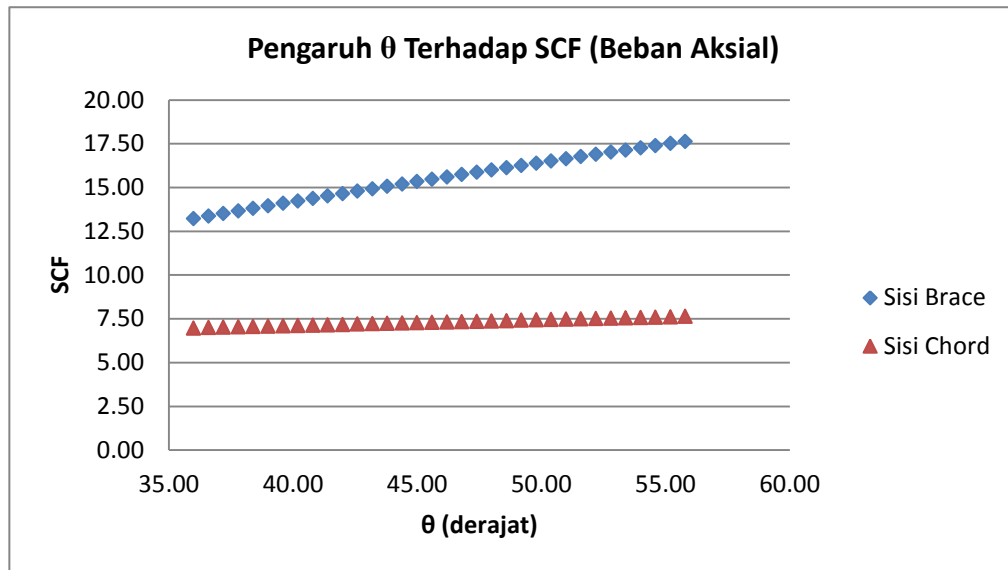


(b)

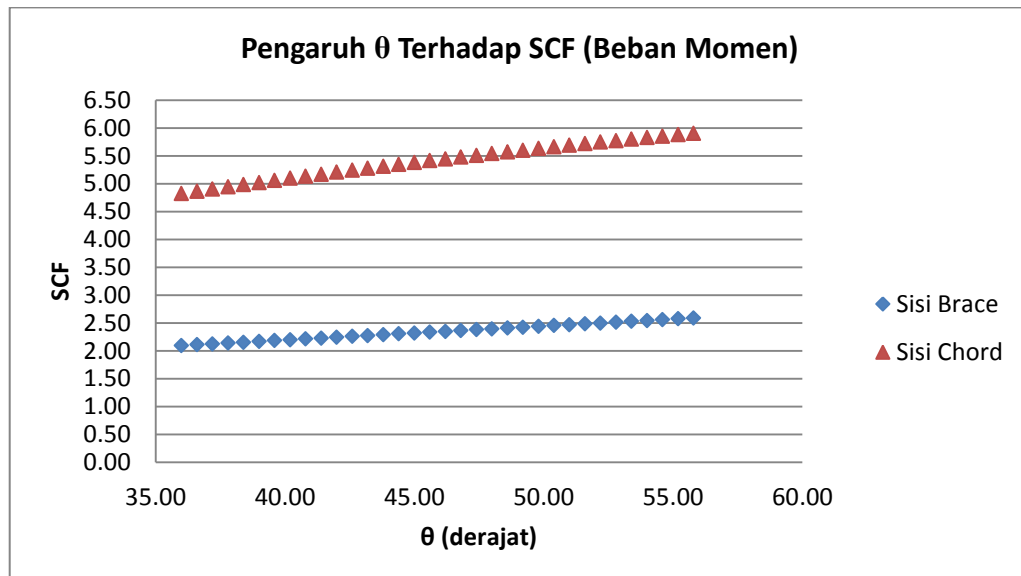
**Gambar 4.36** Pengaruh parameter  $\tau$  terhadap SCF (a) akibat beban aksial,  
(b) akibat beban momen

#### 4.9.4 Pengaruh Parameter $\theta$ Terhadap SCF

Grafik SCF hasil dari persamaan SCF terhadap fungsi dari parameter  $\theta$  dapat dilihat pada Gambar 4.37. Dari Gambar 4.37 terlihat bahwa semakin besar parameter  $\theta$  maka akan semakin besar pula SCF hasil dari persamaan SCF baru. Hal ini disebabkan karena semakin besar parameter  $\theta$  menunjukkan semakin besar sudut antara *brace* dengan *chord*, sehingga berpengaruh terhadap besarnya SCF.



(a)



(b)

**Gambar 4.37** Pengaruh parameter  $\theta$  terhadap SCF (a) akibat beban aksial,  
(b) akibat beban momen

Dari Gambar 4.37 menunjukkan bahwa pengaruh parameter  $\theta$  untuk kasus pembebanan gaya aksial adalah besarnya SCF pada sisi *brace* lebih besar daripada besarnya SCF sisi *chord*. Sedangkan pengaruh parameter  $\theta$  untuk kasus pembebanan momen adalah besarnya SCF pada sisi *chord* lebih besar daripada besarnya SCF sisi *brace*.

Hasil dari perhitungan variasi parameter  $\theta$  membentuk garis linier dengan kecuraman yang berbeda. Semakin curam garis linier, maka akan semakin sensitif terhadap besarnya SCF. Dari Gambar 4.37 menunjukkan bahwa sensitifitas sisi *brace* lebih besar daripada sensitifitas sisi *chord* terhadap besarnya SCF untuk kasus pembebanan gaya aksial. Sedangkan untuk kasus pembebanan momen menunjukkan hasil yang sebaliknya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil studi parameter yang telah dilakukan mengenai pembahasan ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut,

1. Variasi parameter  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  mempengaruhi distribusi tegangan, tegangan *hotspot* dan besarnya SCF pada daerah sambungan antara *brace* dengan *chord*. Hasil dari analisis yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa SCF terbesar terjadi pada sambungan *tubular* dengan besarnya parameter  $\beta = 0,35$ ;  $\tau = 0,5$ ;  $\gamma = 13,5$  dan  $\theta = 46^\circ$ , dengan besarnya SCF = 20,41 untuk kasus pembebanan gaya aksial. Sedangkan untuk kasus beban momen, SCF terbesar terjadi pada sambungan *tubular* dengan besarnya parameter  $\beta = 0,35$ ;  $\tau = 0,35$ ;  $\gamma = 13,5$  dan  $\theta = 46^\circ$ , dengan besarnya SCF = 6,02.\
2. Hasil studi parametrik menunjukkan bahwa semakin besar parameter  $\beta$  maka akan semakin kecil SCF yang dihasilkan. Sedangkan semakin besar parameter  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  maka akan semakin besar juga SCF yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan pengaruh variasi parameter  $\beta$ ,  $\tau$ ,  $\gamma$  dan  $\theta$  terhadap distribusi tegangan.
3. Perumusan persamaan SCF didapatkan dengan memanfaatkan hasil perhitungan dengan metode elemen hingga untuk sambungan *tubular multiplanar double KT* akibat gaya aksial dan beban momen pada sisi *brace* dan sisi *chord*.

#### 5.2. Saran

Penelitian ini masih belum bisa dikatakan sempurna karena masih menyederhakan beberapa masalah dalam analisis. Untuk itu dalam penelitian selanjutnya diharapkan mempertimbangkan hal-hal seperti berikut,

1. Melakukan uji model fisik sesuai dengan data geometri dan material *properties* yang sama dengan penelitian ini.

2. Melakukan studi parameter dan perumusan SCF dengan bentuk *Multiplanar tubular Joint* lainnya
3. Memvariasikan kondisi pembebanan pada masing-masing *brace*
4. Dapat dilanjutkan untuk menghitung keretakan, *stress intensity factor* (SIF), dan penambahan variasi crack pada studi parameter *multiplanar tubular joint double KT* ini.
5. Dapat dilanjutkan untuk menghitung *fatigue life* pada *multiplanar tubular joint double KT*
6. Perlu dicek parameter non-dimensional yang diakibatkan oleh perubahan dari *simple joint* ke *multiplane joint*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, Hamid, Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin, Mohammad H. Aminfar. 2011. *Geometrical effect on SCF distribution in uni-planar tubular DKT-joints under axial loads*. Journal of Construction Steel Research 67, 1282-1291
- Ahmadi, Hamid, Esmail Zavvar. 2015. *Stress concentration factors induced by out-of-plane bending loads in ring-stiffened tubular KT-joints of jacket structures*. Thin Walled Structures 91, 82-95.
- Ahmadi, Hamid, Esmail Zavvar. 2016. *The effect of multi-planarity on the SCFs in offshore tubular KT-joints subjected to in-plane and out-of-plane bending load*. Thin Walled Structures 106, 148-165.
- Chang, E., W.D. Dover. 1999. *Prediction of stress distributios along the intersection of tubular Y and T-joints*. International Journal of Fatigue 21, 361-381.
- DNVGL RP-C203. 2001. Recommended Practice, *Fatigue Strength Analysis of Offshore Steel Structure*.
- Haghpanahi, M., H.Piradi. 2006. *Hot Spot Stress Determination for a Tubular T-joint under Combined Loading Axial and Bending Loading*. IUST International Journal of Engineering Science, vol. 17, No 3-4, Page 21-28.
- Karamanos, Spyros A., Arie Romeijn, Jaap Wardenier. 2001. *SCF equations in multi-planar welded tubular DT-joints including bending effects*. Marine Structures, Vol 15, 157-173
- Lotfollahi-Yaghin, Mohammad A., Hamid Ahmadi. 2011. *Geometric stress distribution along the weld toe of the outer brace in two-planar tubular DKT-joints:Parametric study and deriving the SCF design equation*. Marine Structures, Vol.24, 239-260.
- Pang, H.L.J., C.W. Lee. 1995. *Three-dimentional Finite Element Analysis of a Tubular T-joint under Combined Axial and Bending Loading*. International jurnal of fatigue, vol. 17, no 5, pp313-320.
- Saini, Dikshant Singh, Debasis Karmakar, Samit Ray-Chaudhuri. 2016. *A review of stress concentration factors in tubular and non-tubular joints for design*

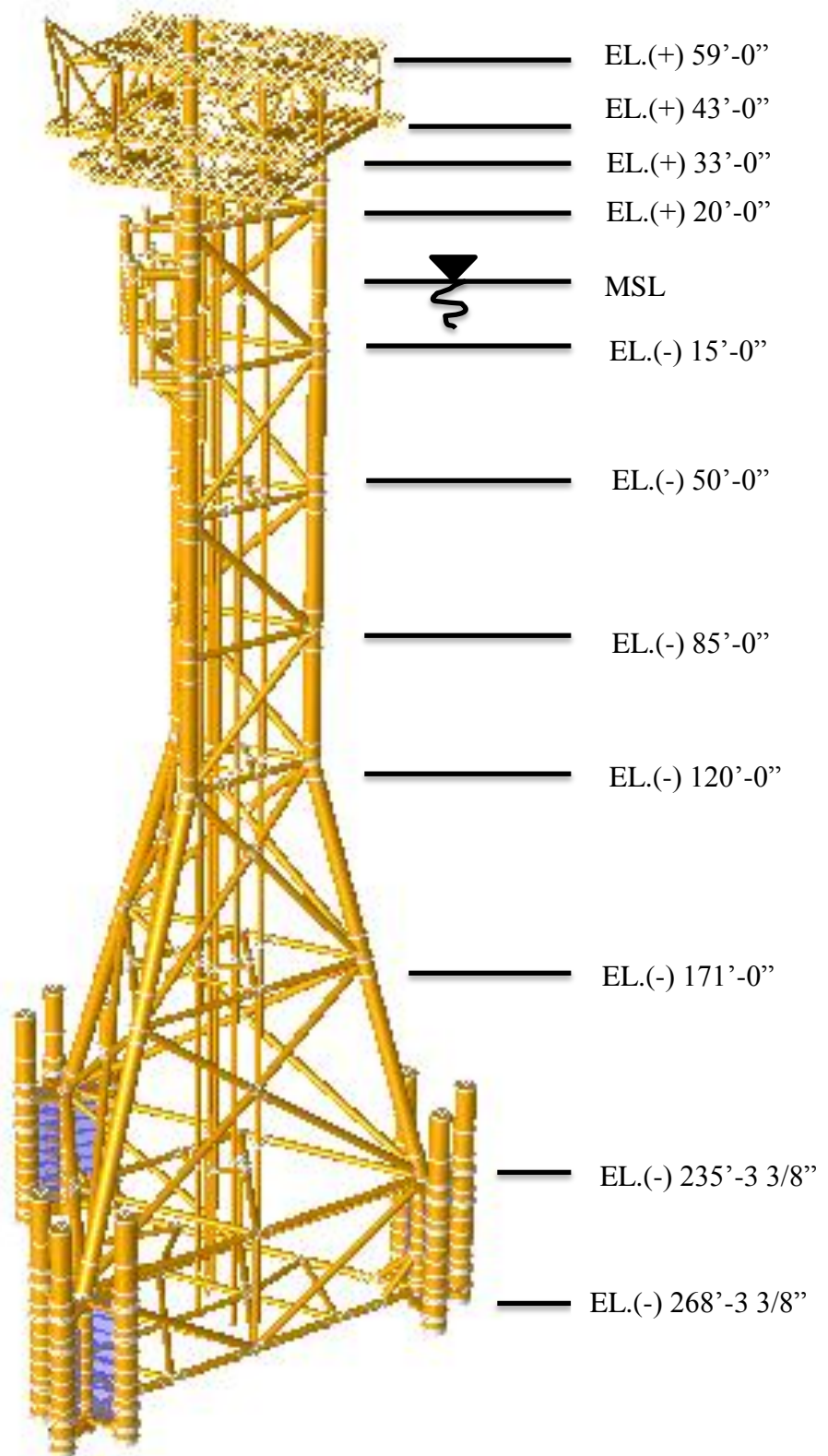
- of offshore installations*. Journal of Ocean Engineering and Science 1, 186-202.
- Soh, Ai-Kah, Chee-Kiong Soh. 1991. *SCF Equation for DT/X Tubular Joints*. J.Construct. Steel Research 19, 81-95
- Tawekal, Ricky L. 2006. *Pengembangan Formula SCF untuk Analisa Kelelahan Joint (Sambungan) T pada Struktur Bangunan Lepas Pantai*. Jurnal Teknik Sipil Vol.13, 33-40.
- Woghiren, C.O., F.P. Brennan. 2009. *Weld toe stress concentrations in multi-planar stiffened tubular KK joints*. International Journal of Fatigue Vol.31, 164-172.



## **LAMPIRAN A**

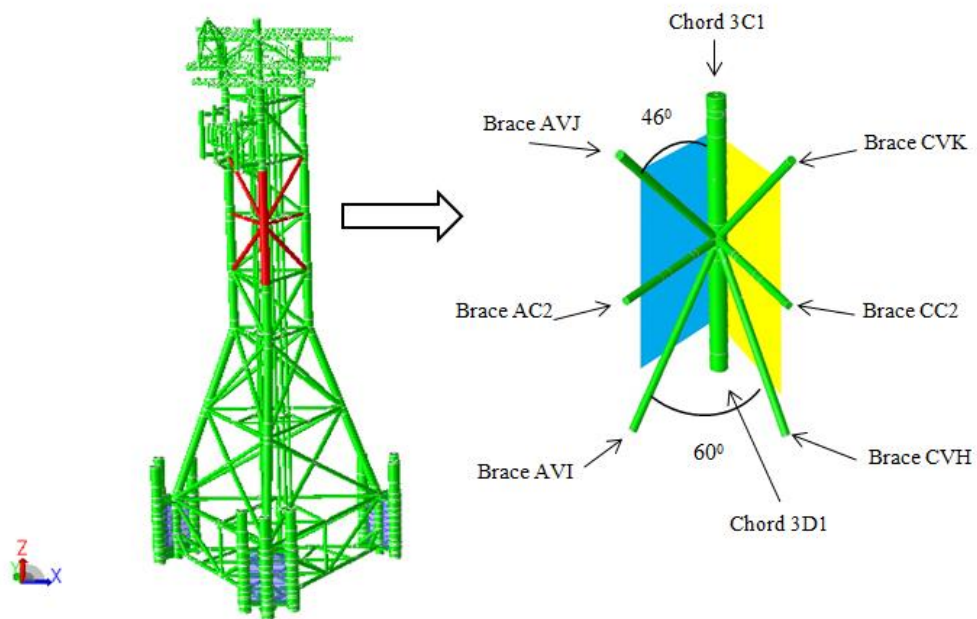
### **DATA AWAL**

### A.1 Pemodelan Global *Platform Isometric View*

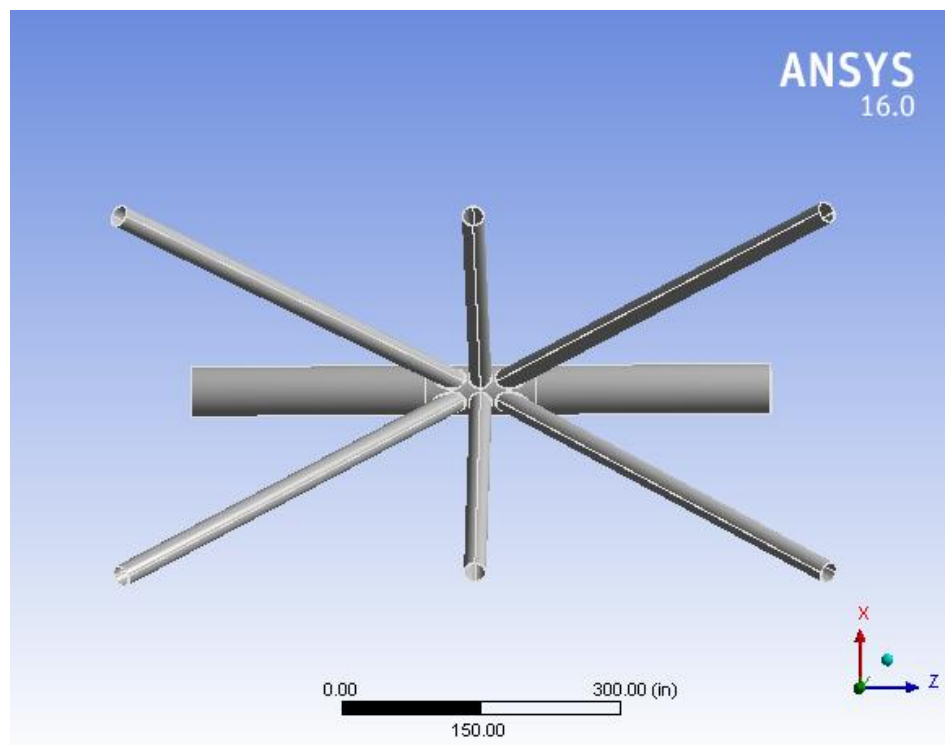


**Gambar A.1** Pemodelan global *platform isometric view*

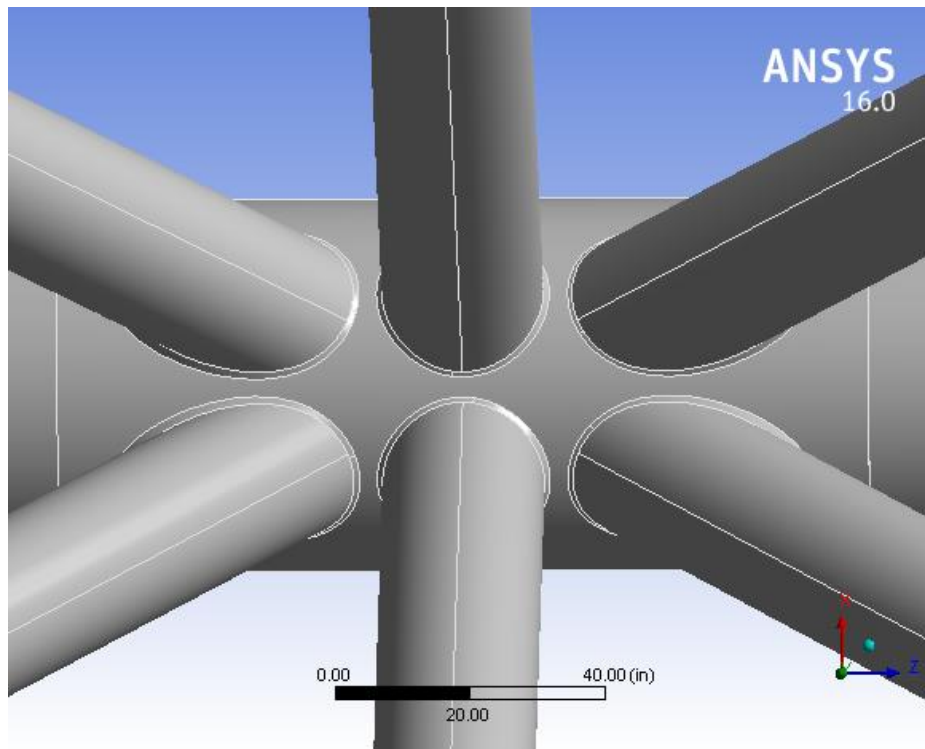
## A.2 Model Lokal Sambungan *Tubular Multiplanar Double KT*



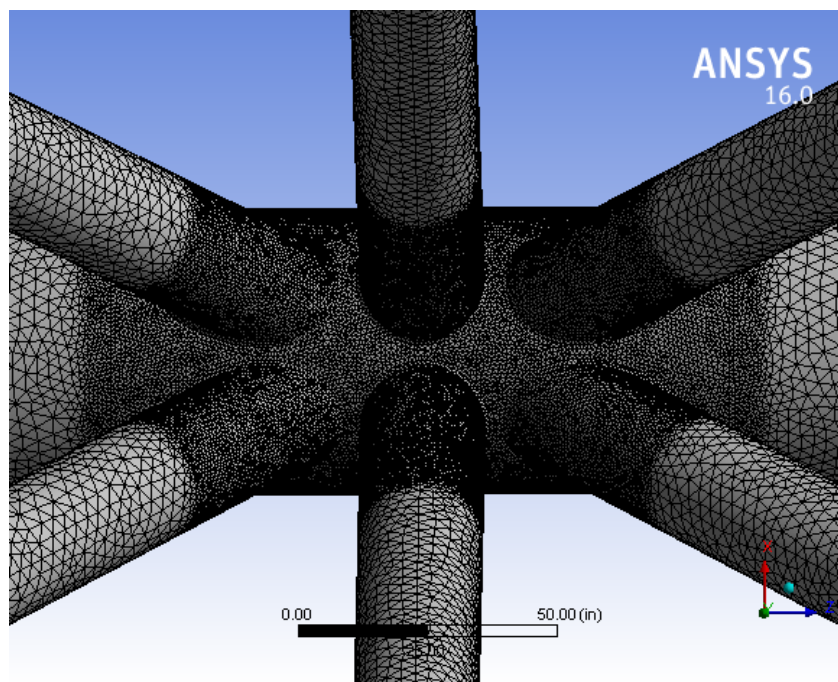
**Gambar A.2.1** Model lokal sambungan *tubular multiplanar double KT*



**Gambar A.2.2** Model lokal sambungan *tubular multiplanar double KT* dengan bantuan *software* elemen hingga



**Gambar A.2.3** Model sambungan las



**Gambar A.2.4** Model *meshing* pada *multi-planar tubular joint double KT*

### A.3 Geometri dan *Material Properties* Sambungan Tubular Multi-planar Double KT

**Tabel A.3** Geometri dan *Material Properties* sambungan tubular multi-planar double KT

	<i>Thickness (t)</i> (in)	<i>Outside Diameter</i> (OD) (in)	<i>Inside Diameter</i> (ID) (in)	<i>Length (L)</i> (in)
Chord 3C1	2	54	50	312
Chord 3D1	2	54	50	312
Brace CVK	1	24	22	540
Brace AVJ	1	24	22	540
Brace CC2	1	24	22	384
Brace AC2	1	24	22	384
Brace CVH	1	24	22	540
Brace AVI	1	24	22	540
<i>Density (lb/ft<sup>3</sup>)</i> = 563,5				
<i>Yield Strength <math>\sigma_y</math> (ksi)</i> = 50				
<i>Mod Young E (ksi)</i> = 30.000				
<i>Shear Modulus G (ksi)</i> = 11.550				
<i>Poisson's Ratio <math>\nu</math></i> = 0,3				

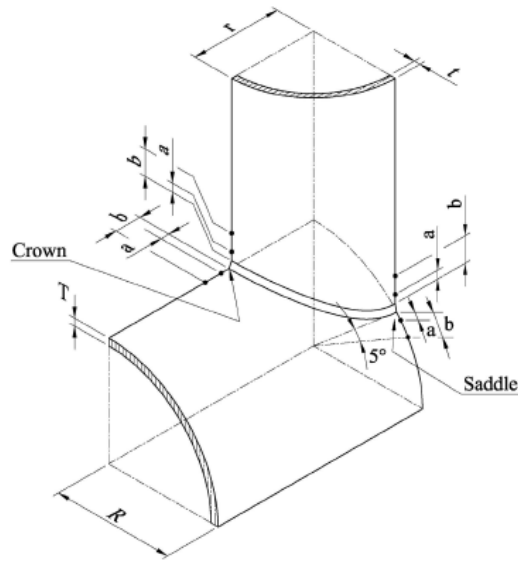
#### **A.4    *Moment dan Force* pada Sambungan *Tubular Multi-planar double KT***

**Tabel A.4** *Moment dan Force* pada sambungan tubular *multi-planar double KT*

Member	<i>Moment</i> (kips-in)			<i>Force</i> (kips)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Brace CVK	-0,481	-32,916	-10,036	-48,599	-0,009	-0,123
Brace AVJ	2,276	-116,609	12,701	-13,482	-0,054	1,359
Brace CC2	213,415	-675,820	-5,420	9,889	0,009	9,804
Brace AC2	-94,616	-384,778	3,736	10,107	-0,011	5,658
Brace CVH	1,187	-42,973	20,484	49,263	0,046	-0,137
Brace AVI	-0,678	-186,280	31,352	-13,801	-0,113	1.579

**LAMPIRAN B**  
**TEGANGAN *HOTSPOT***

## B.1 Menentukan Titik Ekstrapolasi HSS Berdasarkan DNVGL-RP-C203



**Gambar B.1** Titik Ekstrapolasi linier pada tubular joint untuk mencari *hot-spot stress* (DNVGL-RP-C203, 2016)

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *brace* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t}$$

$$b = 0,65 \sqrt{r t}$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *crown* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t}$$

$$b = 0,4 \sqrt[4]{r t R T}$$

Jarak dua titik ekstrapolasi linier sepanjang daerah *chord* pada posisi *saddle* adalah:

$$a = 0,2 \sqrt{r t}$$

$$b = 2 \pi R \frac{5}{360} = \frac{\pi R}{36}$$

Dengan:

$r$  = jari-jari *brace*

$t$  = ketebalan *brace*

$R$  = jari-jari *chord*

$T$  = ketebalan *chord*



No.Joint	d	D	L	T	t	r	t	R	T	BRACE		CHORD CROWN		CHORD SADDLE	
										a	b	a	b	a	b
1	20.50	57.50	624.00	2.70	1.00	10.25	1.00	28.75	2.70	0.64	2.08	0.64	2.12	0.64	2.51
2	20.75	57.25	624.00	2.65	1.00	10.38	1.00	28.63	2.65	0.64	2.09	0.64	2.12	0.64	2.50
3	21.00	57.00	624.00	2.60	1.00	10.50	1.00	28.50	2.60	0.65	2.11	0.65	2.11	0.65	2.49
4	21.25	56.75	624.00	2.55	1.00	10.63	1.00	28.38	2.55	0.65	2.12	0.65	2.11	0.65	2.47
5	21.50	56.50	624.00	2.50	1.00	10.75	1.00	28.25	2.50	0.66	2.13	0.66	2.10	0.66	2.46
6	21.75	56.25	624.00	2.45	1.00	10.88	1.00	28.13	2.45	0.66	2.14	0.66	2.09	0.66	2.45
7	22.00	56.00	624.00	2.40	1.00	11.00	1.00	28.00	2.40	0.66	2.16	0.66	2.09	0.66	2.44
8	22.25	55.75	624.00	2.35	1.00	11.13	1.00	27.88	2.35	0.67	2.17	0.67	2.08	0.67	2.43
9	22.50	55.50	624.00	2.30	1.00	11.25	1.00	27.75	2.30	0.67	2.18	0.67	2.07	0.67	2.42
10	22.75	55.25	624.00	2.25	1.00	11.38	1.00	27.63	2.25	0.67	2.19	0.67	2.06	0.67	2.41
11	23.00	55.00	624.00	2.20	1.00	11.50	1.00	27.50	2.20	0.68	2.20	0.68	2.05	0.68	2.40
12	23.25	54.75	624.00	2.15	1.00	11.63	1.00	27.38	2.15	0.68	2.22	0.68	2.05	0.68	2.39
13	23.50	54.50	624.00	2.10	1.00	11.75	1.00	27.25	2.10	0.69	2.23	0.69	2.04	0.69	2.38
14	23.75	54.25	624.00	2.05	1.00	11.88	1.00	27.13	2.05	0.69	2.24	0.69	2.03	0.69	2.37
15	24.00	54.00	624.00	2.00	1.00	12.00	1.00	27.00	2.00	0.69	2.25	0.69	2.02	0.69	2.36
16	24.00	53.75	624.00	1.95	1.00	12.00	1.00	26.88	1.95	0.69	2.25	0.69	2.00	0.69	2.34
17	24.00	53.50	624.00	1.90	1.00	12.00	1.00	26.75	1.90	0.69	2.25	0.69	1.99	0.69	2.33
18	24.00	53.25	624.00	1.85	1.00	12.00	1.00	26.63	1.85	0.69	2.25	0.69	1.97	0.69	2.32
19	24.00	53.00	624.00	1.80	1.00	12.00	1.00	26.50	1.80	0.69	2.25	0.69	1.96	0.69	2.31
20	24.00	54.00	580.50	2.00	1.00	12.00	1.00	27.00	2.00	0.69	2.25	0.69	2.02	0.69	2.36
21	24.00	54.00	607.50	2.00	1.00	12.00	1.00	27.00	2.00	0.69	2.25	0.69	2.02	0.69	2.36
22	24.00	54.00	634.50	2.00	1.00	12.00	1.00	27.00	2.00	0.69	2.25	0.69	2.02	0.69	2.36
23	18.90	54.00	624.00	2.00	1.00	9.45	1.00	27.00	2.00	0.61	2.00	0.61	1.90	0.61	2.36

24	21.60	54.00	624.00	2.00	1.00	10.80	1.00	27.00	2.00	0.66	2.14	0.66	1.97	0.66	2.36
25	24.30	54.00	624.00	2.00	1.00	12.15	1.00	27.00	2.00	0.70	2.27	0.70	2.02	0.70	2.36
26	24.00	54.00	624.00	2.00	0.70	12.00	0.70	27.00	2.00	0.58	1.88	0.58	1.85	0.58	2.36
27	24.00	54.00	624.00	2.00	0.90	12.00	0.90	27.00	2.00	0.66	2.14	0.66	1.97	0.66	2.36
28	24.00	54.00	624.00	2.00	1.10	12.00	1.10	27.00	2.00	0.73	2.36	0.73	2.07	0.73	2.36
29	24.00	54.00	624.00	2.70	1.35	12.00	1.35	27.00	2.70	0.80	2.62	0.80	2.34	0.80	2.36
30	24.00	54.00	624.00	2.25	1.13	12.00	1.13	27.00	2.25	0.73	2.39	0.73	2.14	0.73	2.36
31	24.00	54.00	624.00	1.80	0.90	12.00	0.90	27.00	1.80	0.66	2.14	0.66	1.91	0.66	2.36
32	24.00	54.00	624.00	2.00	1.00	12.00	1.00	27.00	2.00	0.69	2.25	0.69	2.02	0.69	2.36
33	24.00	54.00	624.00	2.00	1.00	12.00	1.00	27.00	2.00	0.69	2.25	0.69	2.02	0.69	2.36
34	24.00	54.00	624.00	2.00	1.00	12.00	1.00	27.00	2.00	0.69	2.25	0.69	2.02	0.69	2.36

## B.2 Menentukan HSS dengan Metode Ekstrapolasi dengan Menggunakan ANSYS

### B.2.1 Gaya Aksial

Model No	<i>Brace</i>			<i>Chord</i>		
	$\sigma_b$	$\sigma_a$	HSS	$\sigma_b$	$\sigma_a$	HSS
1	6.4103	7.28998	7.7068	3.6455	6.25	7.19
2	6.0221	7.3565	7.9583	3.4729	6.423	7.4565
3	6.456	7.4875	8.0243	3.7272	6.6	7.6255
4	5.5974	7.3786	8.2234	3.5737	7.35	7.8634
5	5.6283	7.4675	8.3462	4.2176	7	8.0212
6	6.628	7.8568	8.4461	3.7378	6.9776	8.2027
7	6.7455	8.0342	8.6458	3.6687	7.2375	8.5777
8	6.7232	8.2	8.8609	4.3598	7.3	8.4136
9	6.1533	8.167	9.0894	4.8537	8.078	9.3775
10	7.1613	8.865	9.6573	3.9422	7.8	9.3581
11	6.2672	8.8	9.9935	4.417	8.15	9.6697
12	6.7298	9.1	10.183	4.0713	8.25	9.9907
13	6.7365	9	10.024	4.8125	8.18	9.5726
14	6.8081	9.046	10.061	5.0978	8.8425	10.41
15	6.9338	9.2341	10.303	1.45	6.967	9.2927
16	6.7472	9.25	10.429	5.5538	9.35	10.991
17	6.6039	9.36	10.6	0.074166	7.1	10.079
18	7.2332	9.8	11.033	6.1187	10.1	11.821
19	7.0452	10.7	12.406	6.2786	10.6	12.547
20	6.9418	8.49	9.2366	5.4355	9	10.497
21	6.4056	8.77	10.009	5.0497	9.076	10.7745
22	6.3047	8.83	10.143	5.4171	9.05	10.63
23	10.055	12.9	14.715	6.7948	12.7	14.915
24	7.2604	10.2	11.879	6.0226	10.47	12.262
25	6.3895	8.4	9.4866	4.8957	8.65	10.233
26	4.5348	5.9351	6.5603	3.3568	6.08	7.0262
27	5.7902	7.678	8.5937	4.1848	7.52	8.8526
28	7.5707	9.17	10.081	4.079	9.4	11.794
29	7.0722	9.2	10.642	5.3321	8.723	10.557
30	6.4884	8.7	9.9464	4.553	8.587	10.419
31	5.9446	8.2514	9.3832	5.2602	9.05	10.62
32	5.187	5.9168	6.3485	3.8405	5.87	6.7384
33	6.301	8.2099	9.2301	4.6718	8.198	9.7534
34	7.4525	11.818	13.977	6.4778	11.271	13.269

### B.2.2 Bending Moment

Model No	<i>Brace</i>			<i>Chord</i>		
	$\sigma_a$	$\sigma_b$	HSS	$\sigma_a$	$\sigma_b$	HSS
1	1.577	2	2.1894	0.604	1.12	1.3479
2	1.4734	1.97	2.1975	0.62	1.11	1.324
3	1.611	1.99	2.1682	0.491	1.05	1.298
4	1.55	2.07	2.304	0.614	1.24	1.528
5	1.571	1.98	2.1526	0.7068	1.197	1.424
6	1.393	1.88	2.1077	0.714	1.31	1.6
7	1.387	1.88	2.1057	0.636	1.2	1.461
8	1.353	1.86	2.102	0.614	1.2	1.488
9	1.369	1.89	2.119	0.78	1.22	1.438
10	1.354	1.95	2.223	0.738	1.18	1.383
11	1.359	1.75	1.93	0.689	1.1	1.292
12	1.4595	1.92	2.127	0.676	1.21	1.471
13	1.3242	1.85	2.1012	0.717	1.15	1.369
14	1.3139	1.73	1.932	0.56	1.045	1.301
15	1.2914	1.8	2.0111	0.6046	1.01	1.2114
16	1.439	1.85	2.036	0.681	1.101	1.329
17	1.3794	1.72	1.883	0.794	1.14	1.325
18	1.503	1.9	2.092	0.693	1.15	1.393
19	1.599	1.93	2.059	0.687	1.13	1.3785
20	1.519	1.97	2.188	0.696	1.18	1.434
21	1.51	1.93	2.102	0.796	1.26	1.505
22	1.475	2.01	2.26	0.795	1.26	1.5147
23	2.305	3.15	3.538	1.081	1.99	2.409
24	1.567	2.3	2.64	1.003	1.55	1.816
25	1.331	1.85	2.073	0.75	1.2	1.436
26	1.113	1.52	1.701	0.717	1.1	1.282
27	1.356	1.8	2	0.898	1.1	1.206
28	1.501	2.1	2.384	0.983	1.37	1.568
29	1.6134	2.13	2.3499	0.818	1.29	1.5249
30	1.286	1.97	2.262	0.673	1.17	1.443
31	1.212	1.83	2.096	0.659	1.22	1.508
32	1.192	1.87	2.15	0.855	1.27	1.498
33	1.214	1.86	2.155	0.762	1.25	1.503
34	1.303	1.92	2.193	0.688	1.187	1.446

### B.3 Menentukan HSS dengan Rumus Ekstrapolasi

EKSTRAPOLSI LINIER HSS

$$(y-y_1)/(y_2-y_1)=(x-x_1)/(x_2-x_1)$$

#### B.3.1 Gaya Aksial

*Brace*

Model No	x	x1	x2	y1	y2	y (HSS)
1	0	2.08	0.64	64.10	72.90	76.81
2	0	2.09	0.64	60.22	73.57	79.50
3	0	2.11	0.65	64.56	74.88	79.46
4	0	2.12	0.65	55.97	73.79	81.70
5	0	2.13	0.66	56.28	74.68	82.85
6	0	2.14	0.66	66.28	78.57	84.03
7	0	2.16	0.66	67.46	80.34	86.07
8	0	2.17	0.67	67.23	82.00	88.56
9	0	2.18	0.67	61.53	81.67	90.62
10	0	2.19	0.67	71.61	88.65	96.22
11	0	2.20	0.68	62.67	88.00	99.26
12	0	2.22	0.68	67.30	91.00	101.53
13	0	2.23	0.69	67.37	90.00	100.06
14	0	2.24	0.69	68.08	90.46	100.41
15	0	2.25	0.69	69.34	92.34	102.56
16	0	2.25	0.69	67.47	92.50	103.62
17	0	2.25	0.69	66.04	93.60	105.85
18	0	2.25	0.69	72.33	98.00	109.41
19	0	2.25	0.69	70.45	107.00	123.24
20	0	2.25	0.69	69.42	84.90	91.78
21	0	2.25	0.69	64.06	88.70	99.65
22	0	2.25	0.69	63.05	89.40	101.11
23	0	2.00	0.61	100.55	132.60	146.84
24	0	2.14	0.66	72.60	103.89	117.79
25	0	2.27	0.70	63.90	85.20	94.67
26	0	1.88	0.58	45.35	59.35	65.57
27	0	2.14	0.66	57.90	76.78	85.17
28	0	2.36	0.73	75.71	92.40	99.82
29	0	2.62	0.80	70.72	95.34	106.28
30	0	2.39	0.73	64.88	88.45	98.92
31	0	2.14	0.66	59.45	83.00	93.47
32	0	2.25	0.69	51.87	59.87	63.43
33	0	2.25	0.69	63.01	82.80	91.60
34	0	2.25	0.69	74.53	118.98	138.74

*Chord*

Model No	x	x1	x2	y1	y2	y (HSS)
1	0	2.51	0.64	36.46	62.50	71.43
2	0	2.50	0.64	34.73	64.23	74.49
3	0	2.49	0.65	37.27	66.00	76.13
4	0	2.47	0.65	35.74	73.50	87.00
5	0	2.46	0.66	42.18	70.00	80.09
6	0	2.45	0.66	37.38	69.78	81.69
7	0	2.44	0.66	36.69	72.38	85.68
8	0	2.43	0.67	43.60	73.00	84.12
9	0	2.42	0.67	48.54	80.78	93.14
10	0	2.41	0.67	39.42	78.00	93.00
11	0	2.40	0.68	44.17	81.50	96.22
12	0	2.39	0.68	40.71	82.50	99.20
13	0	2.38	0.69	48.13	81.80	95.45
14	0	2.37	0.69	50.98	88.43	103.82
15	0	2.36	0.69	14.50	69.67	92.67
16	0	2.34	0.69	55.54	93.50	109.43
17	0	2.33	0.69	0.74	71.00	100.67
18	0	2.32	0.69	61.19	101.00	117.93
19	0	2.31	0.69	62.79	106.00	124.50
20	0	2.36	0.69	54.36	90.00	104.86
21	0	2.36	0.69	50.50	90.76	107.54
22	0	2.36	0.69	54.17	90.50	105.64
23	0	2.36	0.61	67.95	127.00	147.86
24	0	2.36	0.66	60.23	104.70	121.92
25	0	2.36	0.70	48.96	86.50	102.29
26	0	2.36	0.58	33.57	60.80	69.69
27	0	2.36	0.66	41.85	75.20	88.11
28	0	2.36	0.73	40.79	94.00	117.74
29	0	2.36	0.80	53.32	87.23	104.84
30	0	2.36	0.73	45.53	85.87	104.17
31	0	2.36	0.66	52.60	90.50	105.17
32	0	2.36	0.69	38.41	58.70	67.16
33	0	2.36	0.69	46.72	81.98	96.68
34	0	2.36	0.69	64.78	112.71	132.69

### B.3.2 Bending Moment

#### Brace

Model No	x	x1	x2	y1	y2	y (HSS)
1	0	2.08	0.64	1.58	2.00	2.19
2	0	2.09	0.64	1.47	1.97	2.19
3	0	2.11	0.65	1.61	1.99	2.16
4	0	2.12	0.65	1.55	2.07	2.30
5	0	2.13	0.66	1.57	1.98	2.16
6	0	2.14	0.66	1.39	1.88	2.10
7	0	2.16	0.66	1.39	1.88	2.10
8	0	2.17	0.67	1.35	1.86	2.09
9	0	2.18	0.67	1.37	1.89	2.12
10	0	2.19	0.67	1.35	1.95	2.21
11	0	2.20	0.68	1.36	1.75	1.92
12	0	2.22	0.68	1.46	1.92	2.12
13	0	2.23	0.69	1.32	1.85	2.08
14	0	2.24	0.69	1.31	1.73	1.91
15	0	2.25	0.69	1.29	1.80	2.03
16	0	2.25	0.69	1.44	1.85	2.03
17	0	2.25	0.69	1.38	1.72	1.87
18	0	2.25	0.69	1.50	1.90	2.08
19	0	2.25	0.69	1.60	1.93	2.08
20	0	2.25	0.69	1.52	1.97	2.17
21	0	2.25	0.69	1.51	1.93	2.12
22	0	2.25	0.69	1.48	2.01	2.25
23	0	2.00	0.61	2.31	3.15	3.53
24	0	2.14	0.66	1.57	2.30	2.63
25	0	2.27	0.70	1.33	1.85	2.08
26	0	1.88	0.58	1.11	1.52	1.70
27	0	2.14	0.66	1.36	1.80	2.00
28	0	2.36	0.73	1.50	2.10	2.37
29	0	2.62	0.80	1.61	2.13	2.36
30	0	2.39	0.73	1.29	1.97	2.27
31	0	2.14	0.66	1.21	1.83	2.10
32	0	2.25	0.69	1.19	1.87	2.17
33	0	2.25	0.69	1.21	1.86	2.15
34	0	2.25	0.69	1.30	1.92	2.19

*Chord*

Model No	x	x1	x2	y1	y2	y
1	0	2.12	0.64	0.60	1.12	1.34
2	0	2.12	0.64	0.62	1.11	1.32
3	0	2.11	0.65	0.49	1.05	1.30
4	0	2.11	0.65	0.61	1.24	1.52
5	0	2.10	0.66	0.71	1.20	1.42
6	0	2.09	0.66	0.71	1.31	1.58
7	0	2.09	0.66	0.64	1.20	1.46
8	0	2.08	0.67	0.61	1.20	1.48
9	0	2.07	0.67	0.78	1.22	1.43
10	0	2.06	0.67	0.74	1.18	1.39
11	0	2.05	0.68	0.69	1.10	1.30
12	0	2.05	0.68	0.68	1.21	1.48
13	0	2.04	0.69	0.72	1.15	1.37
14	0	2.03	0.69	0.56	1.05	1.29
15	0	2.02	0.69	0.60	1.01	1.22
16	0	2.00	0.69	0.68	1.10	1.32
17	0	1.99	0.69	0.79	1.14	1.33
18	0	1.97	0.69	0.69	1.15	1.40
19	0	1.96	0.69	0.69	1.13	1.37
20	0	2.02	0.69	0.70	1.18	1.43
21	0	2.02	0.69	0.80	1.26	1.50
22	0	2.02	0.69	0.80	1.26	1.50
23	0	1.90	0.61	1.08	1.99	2.42
24	0	1.97	0.66	1.00	1.55	1.82
25	0	2.02	0.70	0.75	1.20	1.44
26	0	1.85	0.58	0.72	1.10	1.28
27	0	1.97	0.66	0.90	1.10	1.20
28	0	2.07	0.73	0.98	1.37	1.58
29	0	2.34	0.80	0.82	1.29	1.54
30	0	2.14	0.73	0.67	1.17	1.43
31	0	1.91	0.66	0.66	1.22	1.51
32	0	2.02	0.69	0.86	1.27	1.49
33	0	2.02	0.69	0.76	1.25	1.51
34	0	2.02	0.69	0.69	1.19	1.45



## B.4 %Error *Hot-spot Stess* dengan Rumus Ekstrapolasi dan Hasil dengan Menggunakan ANSYS

### B.4.1 Gaya Aksial

<i>Brace</i>			<i>Chord</i>		
HSS Rumus	HSS ANSYS	% Error	HSS Rumus	HSS ANSYS	% Error
76.81	77.07	0.34	71.43	71.90	0.65
79.50	79.58	0.11	74.49	74.57	0.10
79.46	80.24	0.98	76.13	76.26	0.16
81.70	82.23	0.65	87.00	78.63	-10.64
82.85	83.46	0.73	80.09	80.21	0.15
84.03	84.46	0.51	81.69	82.03	0.41
86.07	86.46	0.45	85.68	85.78	0.11
88.56	88.61	0.05	84.12	84.14	0.02
90.62	90.89	0.30	93.14	93.78	0.67
96.22	96.57	0.36	93.00	93.58	0.62
99.26	99.94	0.68	96.22	96.70	0.50
101.53	101.83	0.29	99.20	99.91	0.70
100.06	100.24	0.18	95.45	95.73	0.29
100.41	100.61	0.20	103.82	104.10	0.27
102.56	103.03	0.45	92.67	92.93	0.28
103.62	104.29	0.64	109.43	109.91	0.44
105.85	106.00	0.14	100.67	100.79	0.12
109.41	110.33	0.84	117.93	118.21	0.24
123.24	124.06	0.66	124.50	125.47	0.78
91.78	92.37	0.63	104.86	104.97	0.11
99.65	100.09	0.44	107.54	107.75	0.19
101.11	101.43	0.31	105.64	106.30	0.62
146.84	147.15	0.21	147.86	149.15	0.86
117.79	118.79	0.84	121.92	122.62	0.57
94.67	94.87	0.21	102.29	102.33	0.04
65.57	65.60	0.04	69.69	70.26	0.81
85.17	85.94	0.89	88.11	88.53	0.47
99.82	100.81	0.98	117.74	117.94	0.17
106.28	106.42	0.13	104.84	105.57	0.69
98.92	99.46	0.54	104.17	104.19	0.02
93.47	93.83	0.39	105.17	106.20	0.97
63.43	63.49	0.09	67.16	67.38	0.33
91.60	92.30	0.76	96.68	97.53	0.88
138.74	139.77	0.74	132.69	132.69	0.00
% rata-rata error		0.46	% rata-rata error		0.08

#### B.4.2 Bending Moment

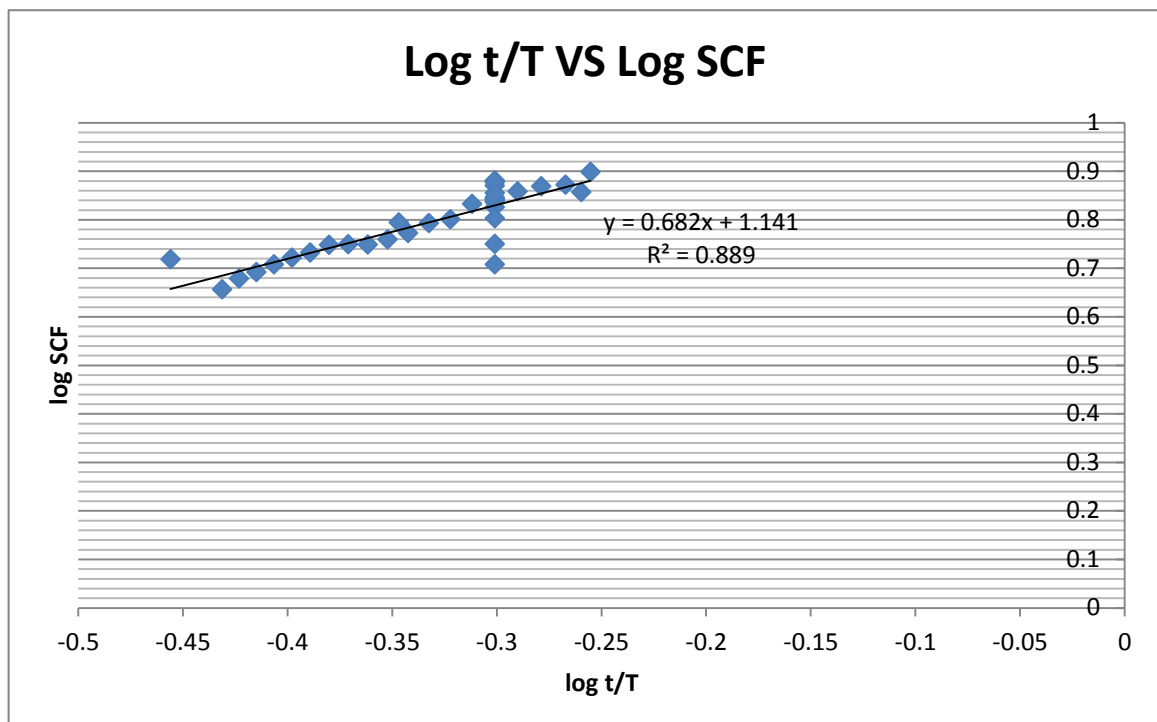
<i>Brace</i>			<i>Chord</i>		
HSS Rumus	HSS ANSYS	% Error	HSS Rumus	HSS ANSYS	% Error
2.19	2.19	0.06	1.34	1.35	0.39
2.19	2.20	0.31	1.32	1.32	-0.01
2.16	2.17	0.45	1.30	1.30	0.05
2.30	2.30	0.13	1.52	1.53	0.48
2.16	2.15	-0.43	1.42	1.42	0.31
2.10	2.11	0.53	1.58	1.60	0.98
2.10	2.11	0.31	1.46	1.46	-0.14
2.09	2.10	0.79	1.48	1.49	0.74
2.12	2.12	-0.12	1.43	1.44	0.50
2.21	2.22	0.36	1.39	1.38	-0.85
1.92	1.93	0.32	1.30	1.29	-0.82
2.12	2.13	0.11	1.48	1.47	-0.41
2.08	2.10	0.83	1.37	1.37	-0.05
1.91	1.93	0.88	1.29	1.30	0.48
2.03	2.01	-0.74	1.22	1.21	-0.87
2.03	2.04	0.16	1.32	1.33	0.45
1.87	1.88	0.62	1.33	1.33	-0.01
2.08	2.09	0.74	1.40	1.39	-0.32
2.08	2.06	-0.88	1.37	1.38	0.41
2.17	2.19	0.80	1.43	1.43	0.07
2.12	2.10	-0.70	1.50	1.51	0.16
2.25	2.26	0.54	1.50	1.51	0.77
3.53	3.54	0.35	2.42	2.41	-0.64
2.63	2.64	0.54	1.82	1.82	-0.48
2.08	2.07	-0.37	1.44	1.44	-0.02
1.70	1.70	0.01	1.28	1.28	0.52
2.00	2.02	0.88	1.20	1.21	0.38
2.37	2.38	0.75	1.58	1.57	-0.75
2.36	2.35	-0.41	1.54	1.52	-0.78
2.27	2.26	-0.53	1.43	1.44	0.91
2.10	2.10	-0.41	1.51	1.51	-0.35
2.17	2.15	-0.99	1.49	1.50	0.74
2.15	2.16	0.37	1.51	1.50	-0.14
2.19	2.19	-0.06	1.45	1.45	-0.13
% rata-rata error		0.15	% rata-rata error		0.05

**LAMPIRAN C**  
**PERUMUSAN SCF**

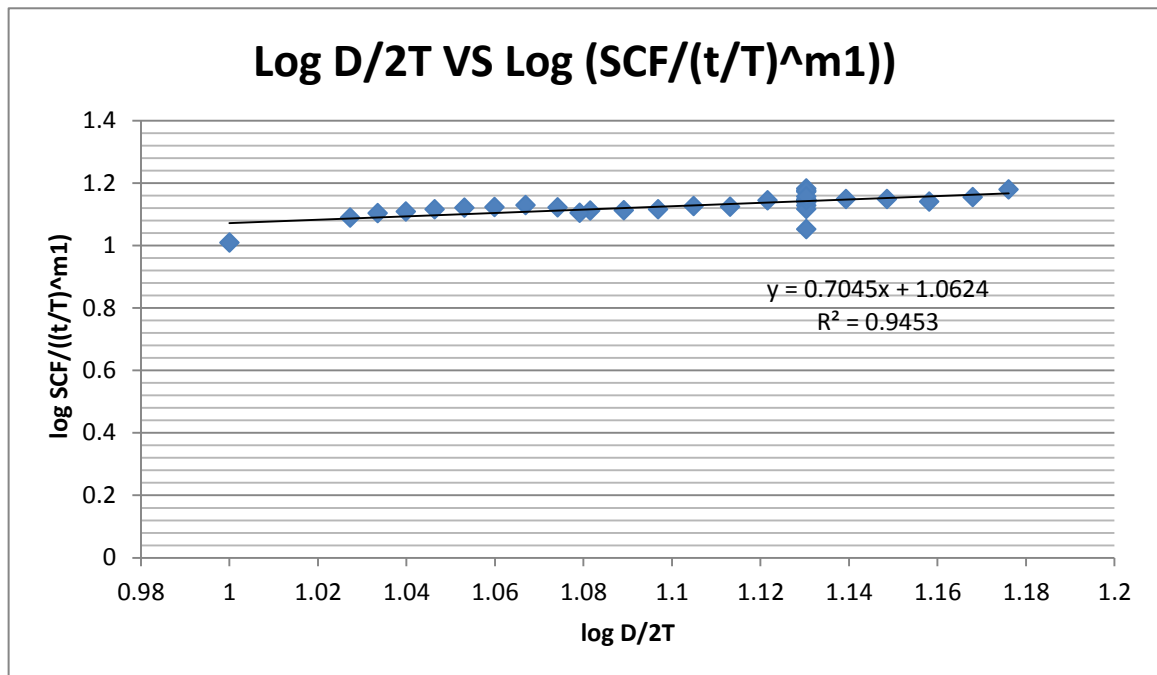
### C. Persamaan Empiris SCF Sambungan *Tubular Multi-planar Double KT*

#### C.1 Proses pembuatan rumus empiris SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *chord* akibat beban aksial adalah :

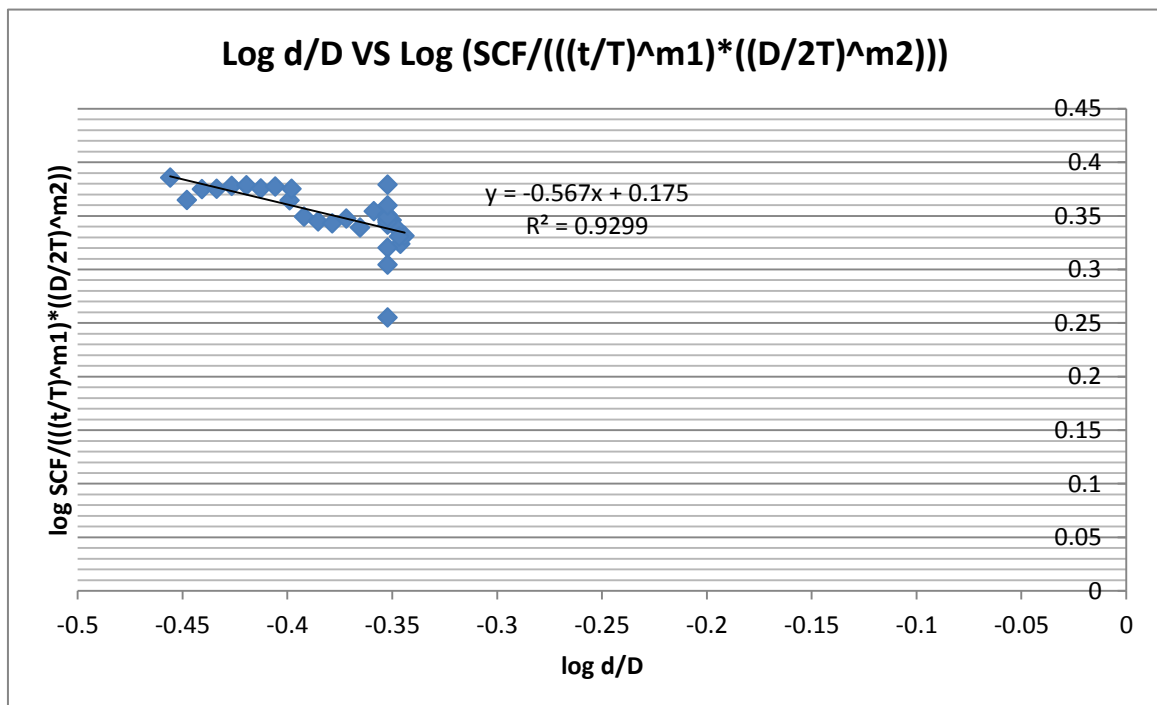
1. Langkah a ditunjukkan Gambar G.1.1 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m_1 = 0,682$
2. Langkah b ditunjukkan Gambar G.1.2 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m_2 = 0,7045$
3. Langkah c ditunjukkan Gambar G.1.3 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m_3 = -0,567$
4. Langkah d ditunjukkan Gambar G.1.4 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m_4 = 0,275$
5. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (gambar 4.21), yaitu  $c = 1,141$ .



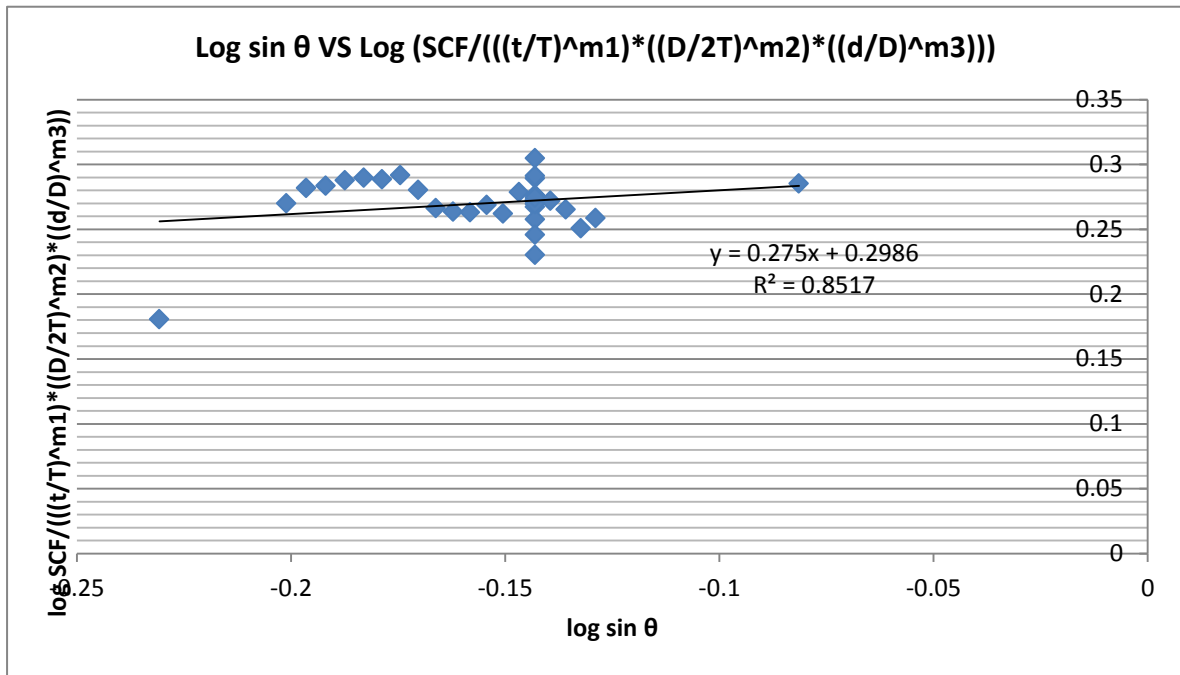
Gambar C.1 Plot Langkah a



**Gambar C.2** Plot Langkah b



**Gambar C.3** Plot Langkah c



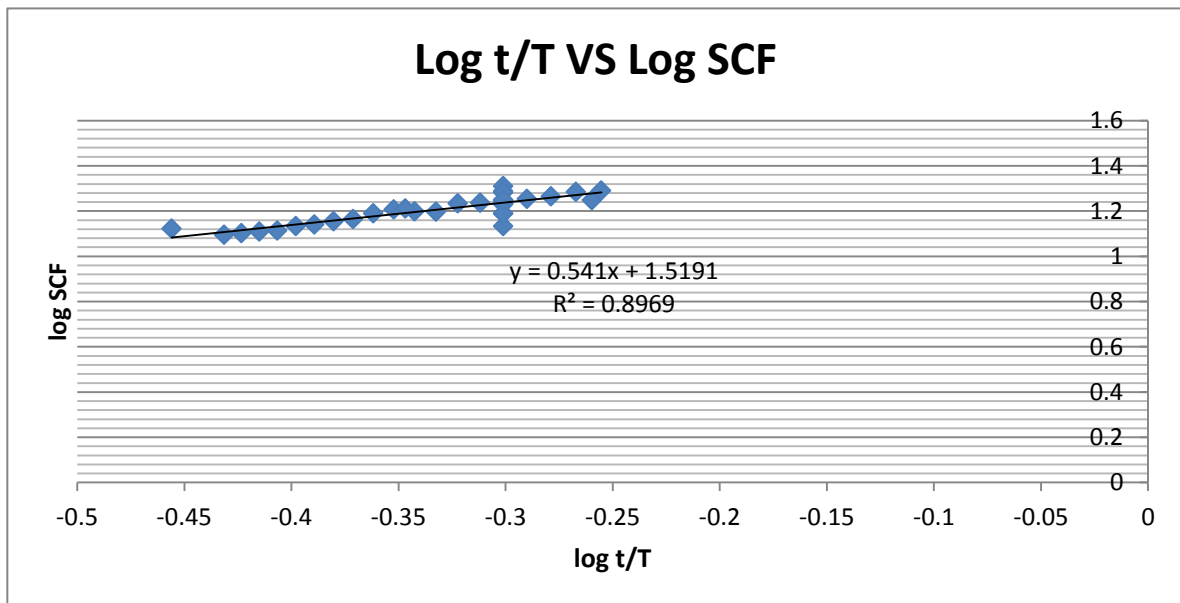
**Gambar C.4** Plot Langkah d

Sehingga persamaan empiris SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *chord* akibat beban aksial adalah :

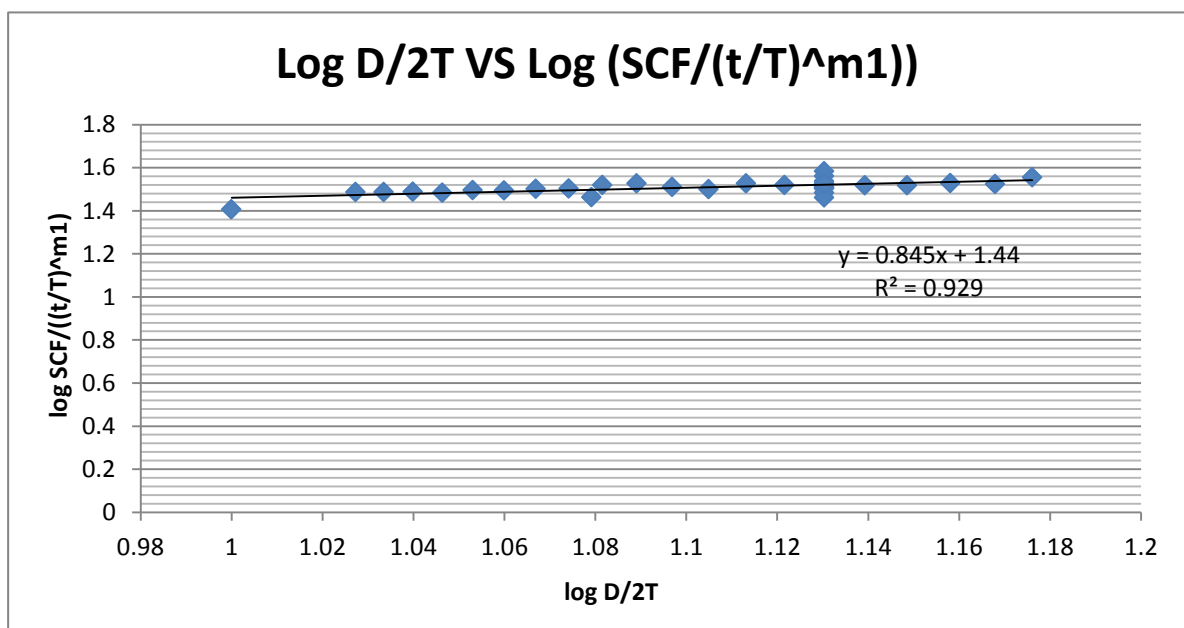
$$SCF_{Chord} = 1,141 \cdot \beta^{-0,567} \cdot \gamma^{0,7045} \cdot \tau^{0,682} (\sin \theta)^{0,275}$$

## C.2 Proses pembuatan rumus empiris SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *brace* akibat beban aksial adalah :

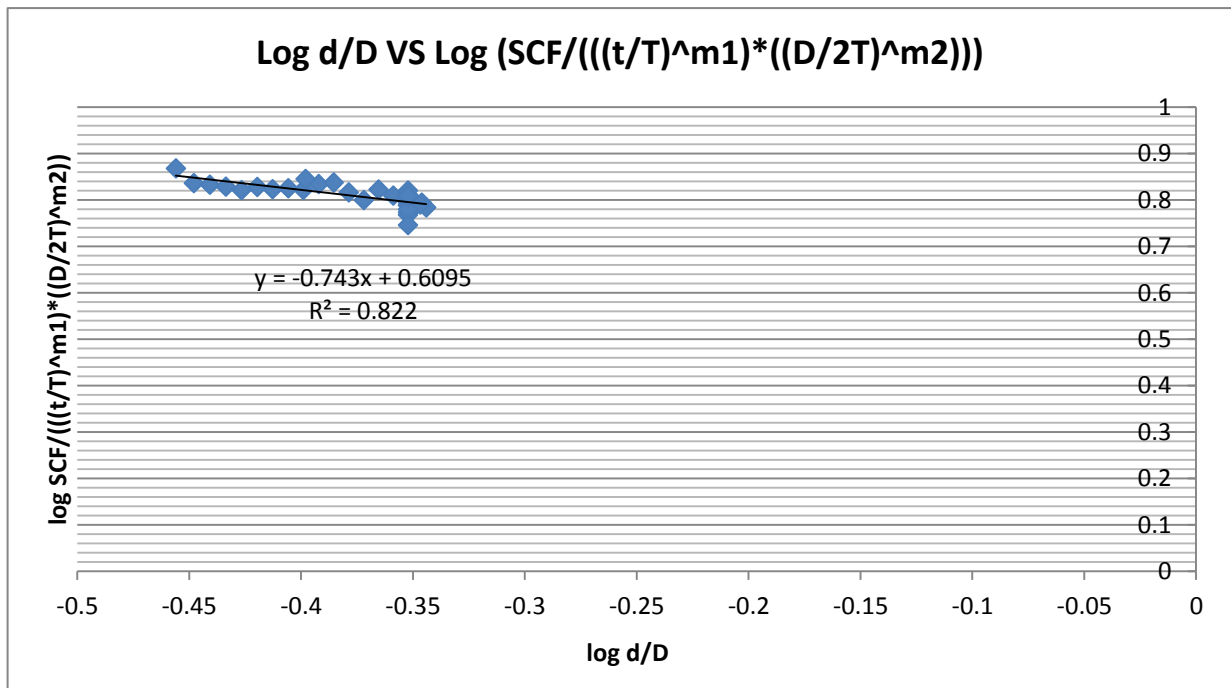
1. Langkah a ditunjukkan Gambar C.1.5 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m1 = 0,541$
2. Langkah b ditunjukkan Gambar C.1.6 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m2 = 0,845$
3. Langkah c ditunjukkan Gambar C.1.7 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m3 = -0,743$
4. Langkah d ditunjukkan Gambar C.1.8 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m4 = 0,132$
5. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (gambar 4.21), yaitu  $c = 1,5191$ .



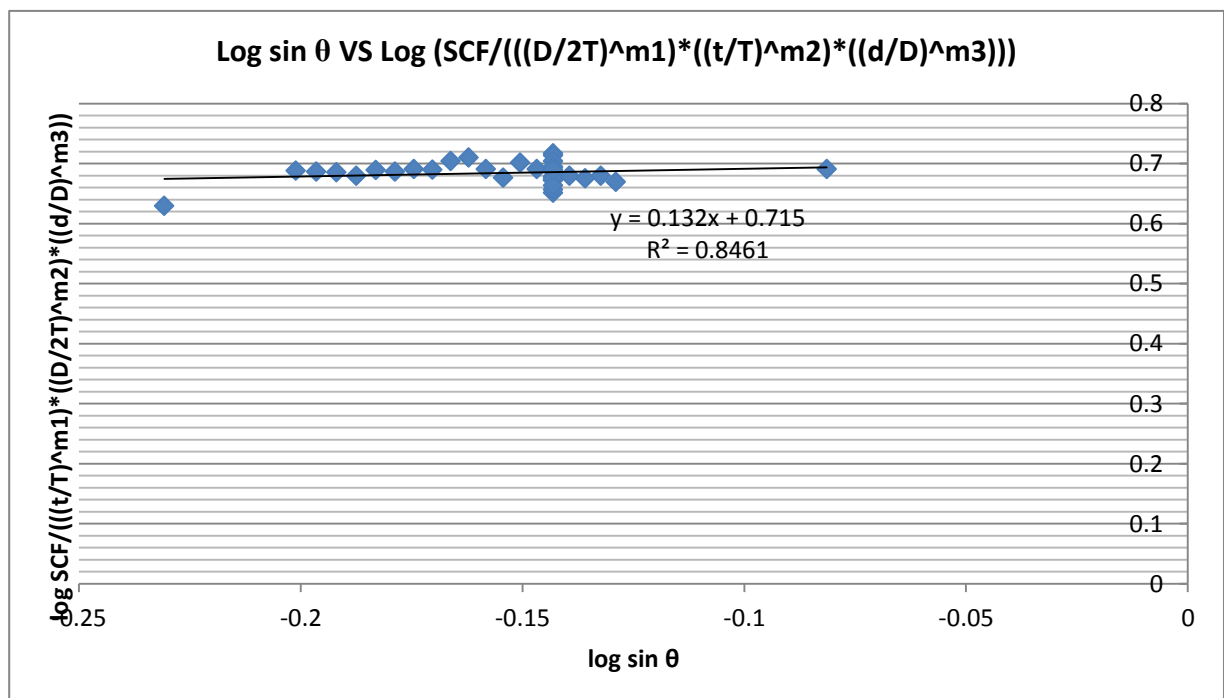
**Gambar C.5** Plot Langkah a



**Gambar C.6** Plot Langkah b



**Gambar C.7 Plot Langkah c**



**Gambar C.8 Plot Langkah d**

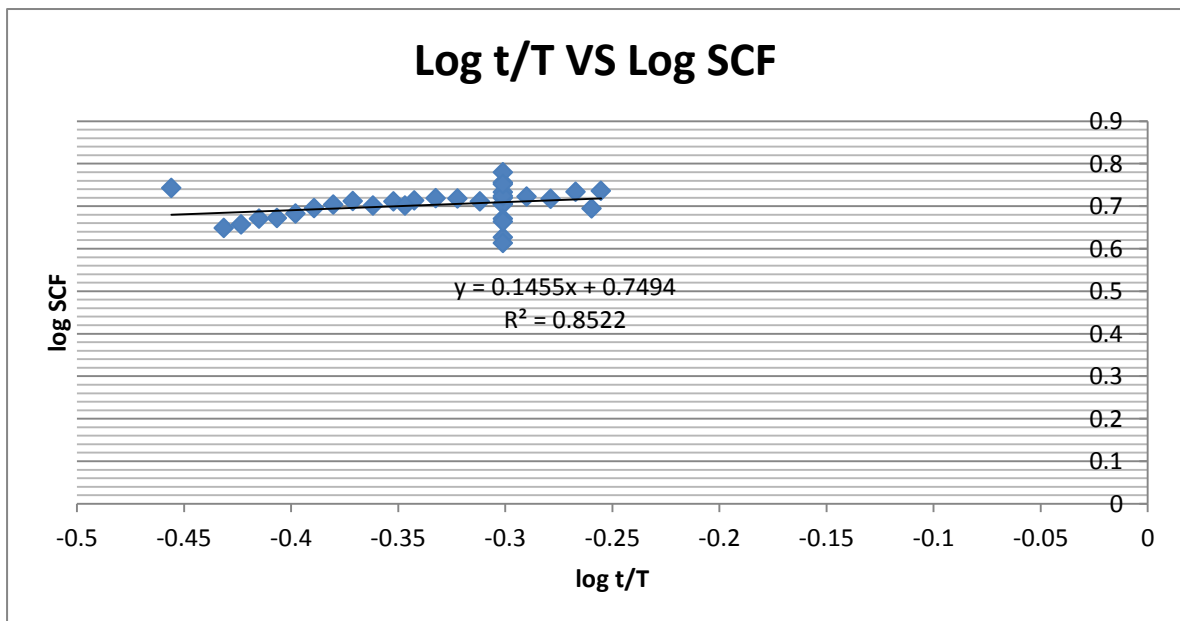


Sehingga persamaan empiris SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *brace* akibat beban aksial adalah :

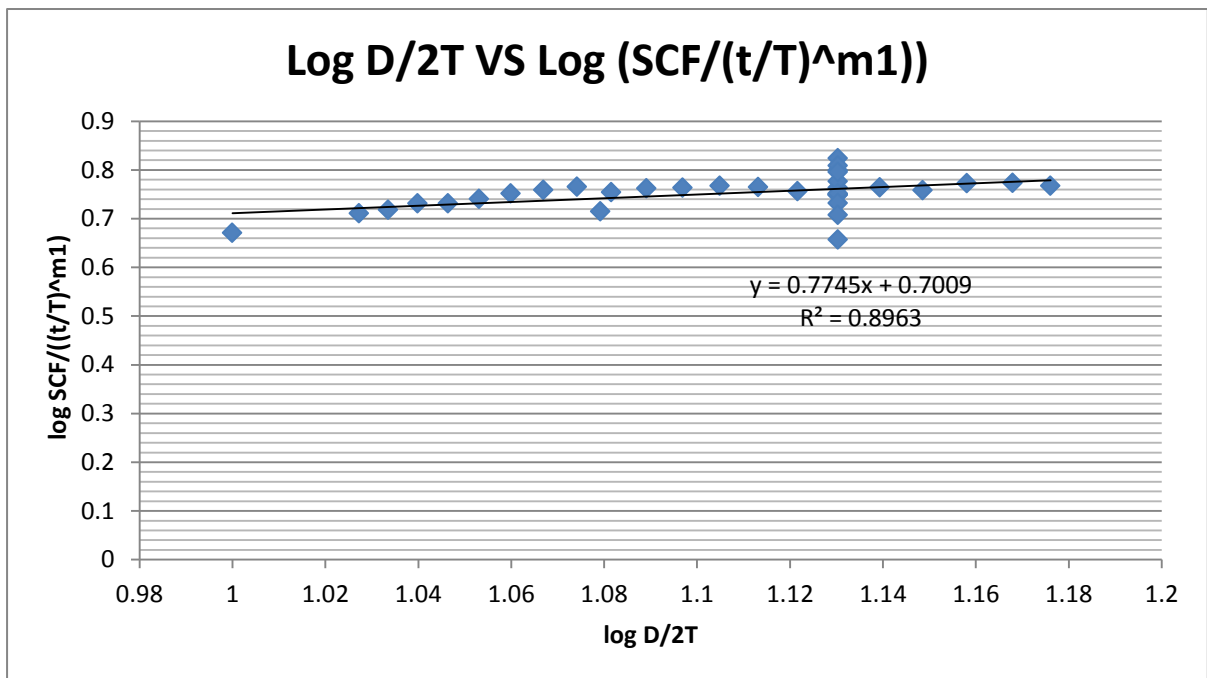
$$SCF_{Brace} = 1,5191 \cdot \beta^{-0,743} \cdot \gamma^{0,845} \cdot \tau^{0,541} (\sin \theta)^{0,132}$$

**C.3 Proses pembuatan rumus empiris SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *chord* akibat beban momen adalah :**

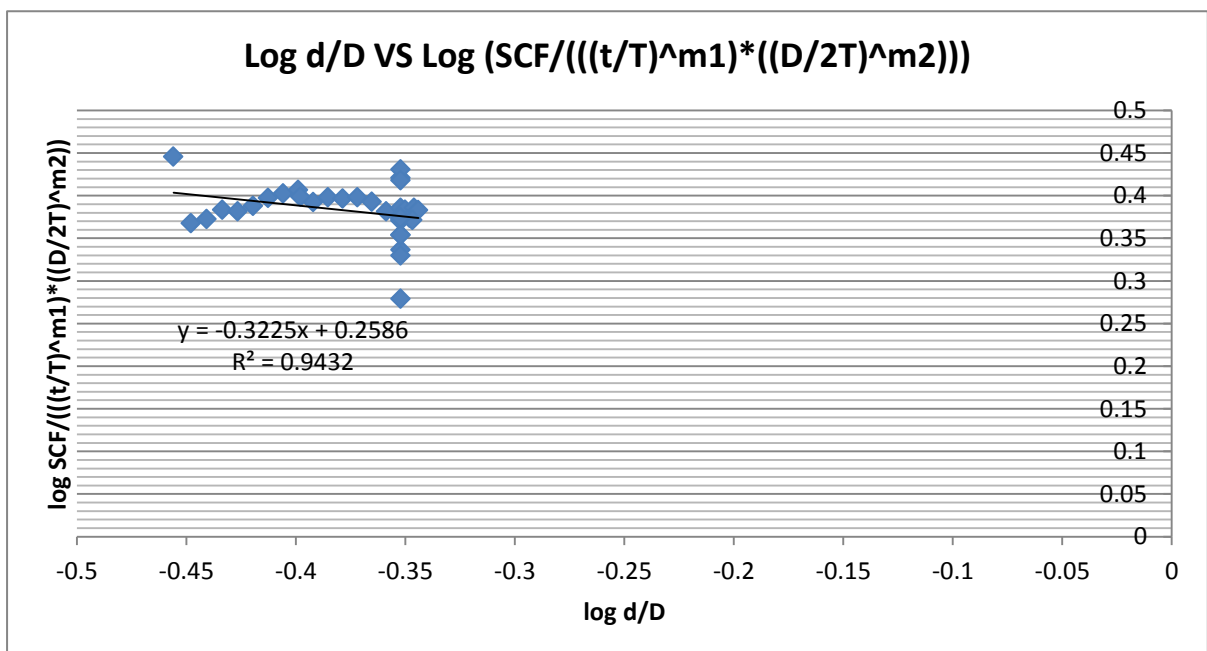
1. Langkah a ditunjukkan Gambar C.1.9 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m1 = 0,1455$
2. Langkah b ditunjukkan Gambar C.1.10 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m2 = 0,7745$
3. Langkah c ditunjukkan Gambar C.1.11 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m3 = -0,3225$
4. Langkah d ditunjukkan Gambar C.1.12 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m4 = 0,5929$
5. Besarnya c (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (gambar 4.21), yaitu  $c = 1,141$ .



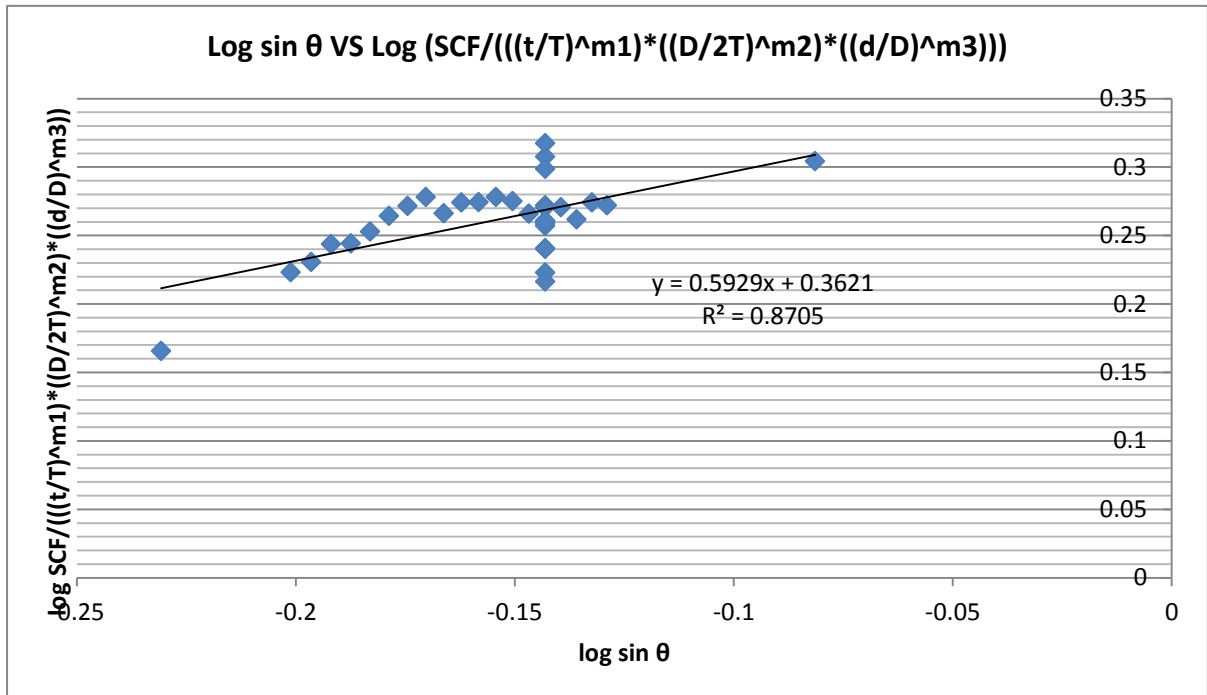
**Gambar C.9** Plot Langkah a



**Gambar C.10** Plot Langkah b



**Gambar C.11** Plot Langkah c



**Gambar C.12** Plot Langkah d

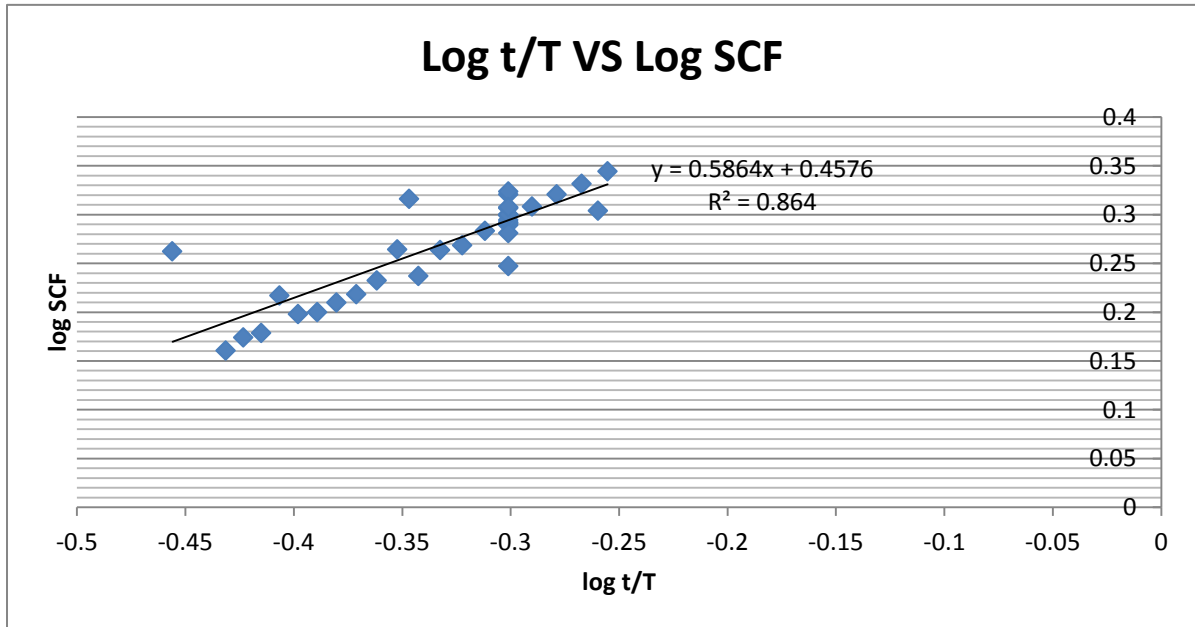
Sehingga persamaan empiris SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *chord* akibat beban momen adalah :

$$SCF_{Chord} = 0,7494 \cdot \beta^{-0,3225} \cdot \gamma^{0,7745} \cdot \tau^{0,1455} (\sin \theta)^{0,5929}$$

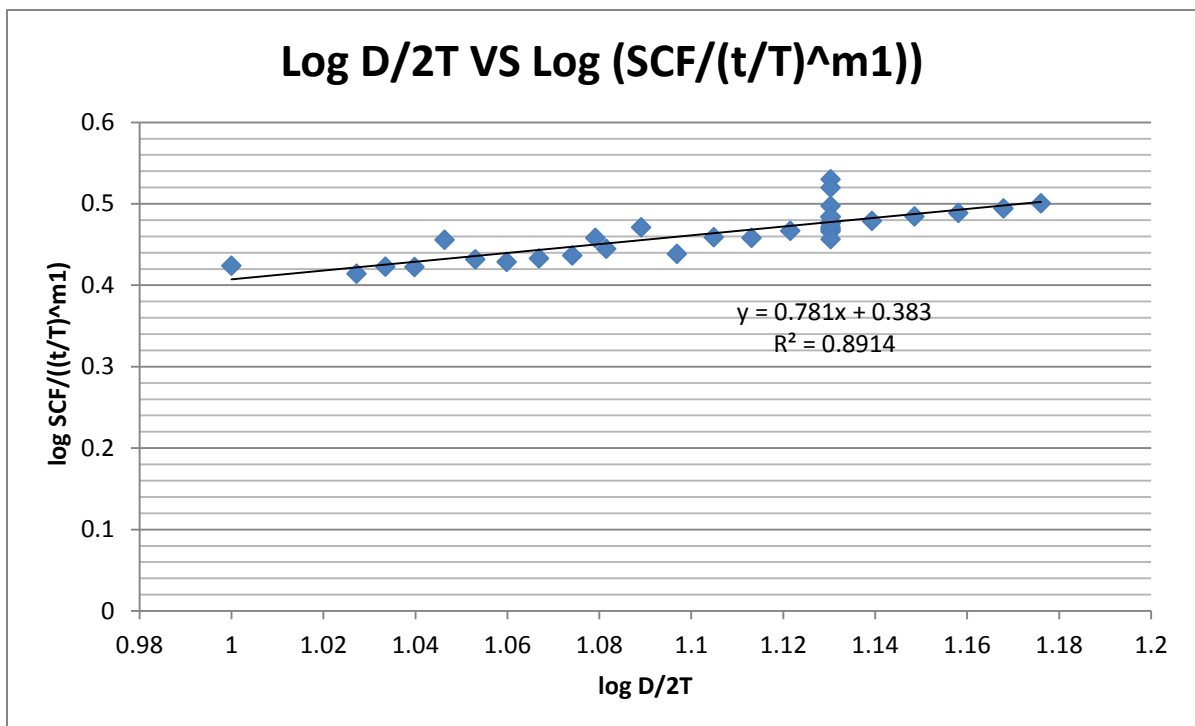
#### **C.4 Proses pembuatan rumus empiris SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *brace* akibat beban momen adalah :**

1. Langkah a ditunjukkan Gambar C.1.13 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m1 = 0,5864$
2. Langkah b ditunjukkan Gambar C.1.14 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m2 = 0,781$
3. Langkah c ditunjukkan Gambar C.1.15 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m3 = 0,1256$
4. Langkah d ditunjukkan Gambar C.1.16 Dari hasil plot tersebut didapatkan kemiringan  $m4 = 0,4576$

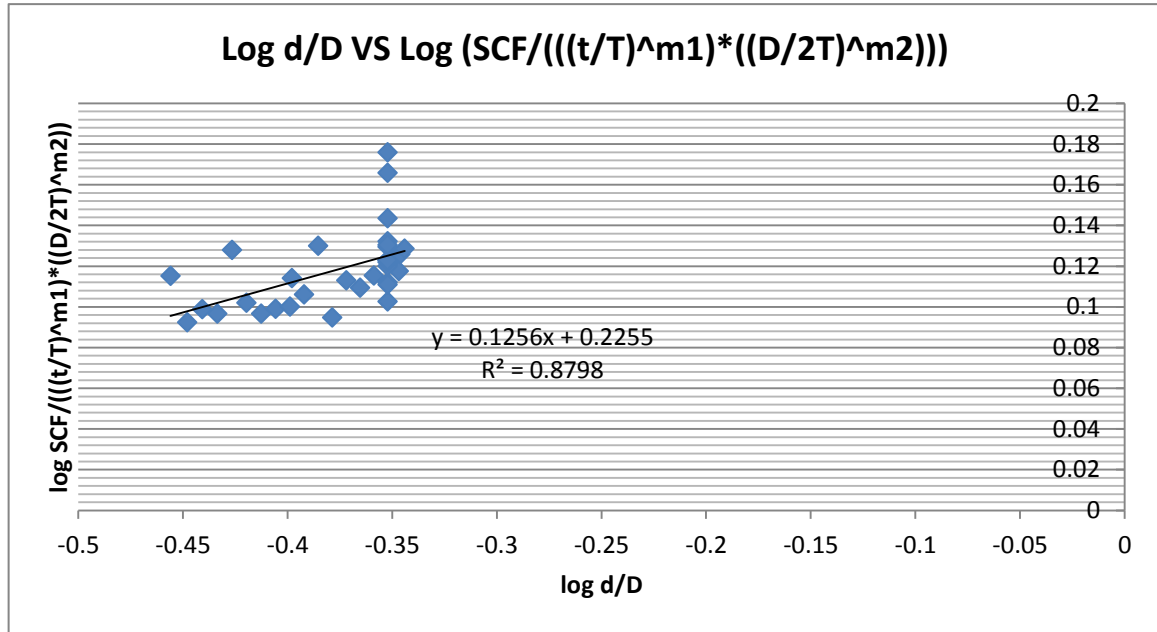
5. Besarnya  $c$  (konstanta), didapatkan dari *interception* pada log SCF (gambar 4.21), yaitu  $c = 0,4576$ .



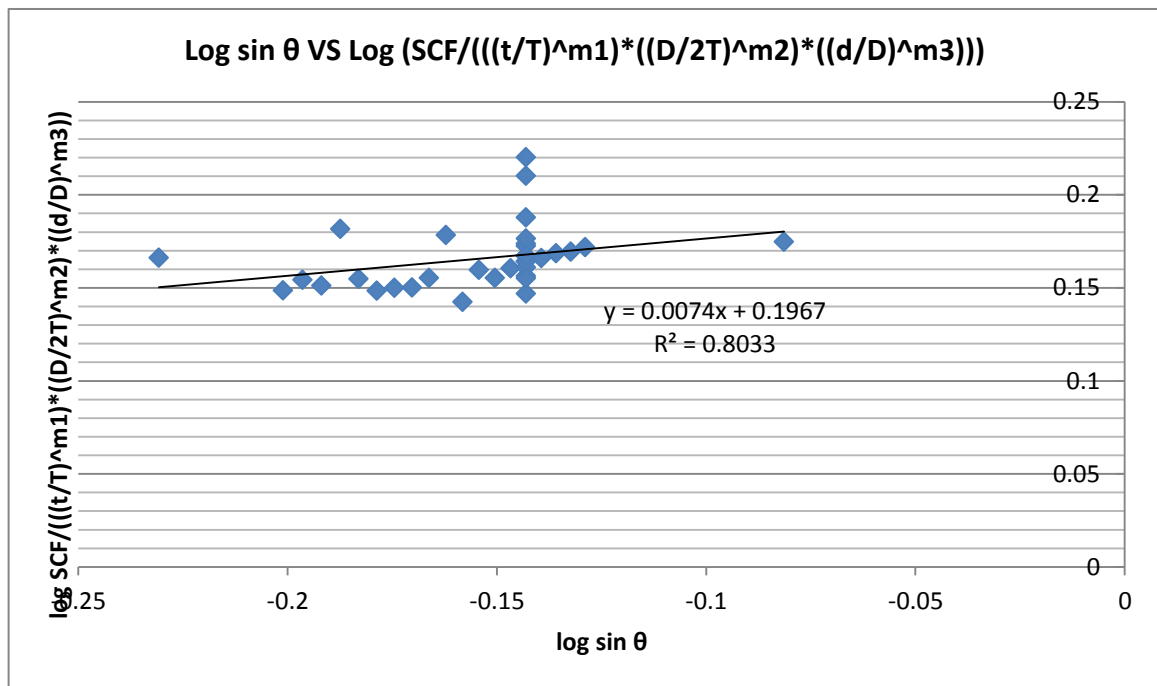
Gambar C.13 Plot Langkah a



Gambar C.14 Plot Langkah b



**Gambar C.15** Plot Langkah c



**Gambar C.16** Plot Langkah d

Sehingga persamaan empiris SCF sambungan *tubular multi-planar double KT* pada sisi *brace* akibat beban momen adalah :

$$SCF_{Brace} = 0,4576 \cdot \beta^{0,1256} \cdot \gamma^{0,781} \cdot \tau^{0,5864} (\sin \theta)^{0,0074}$$

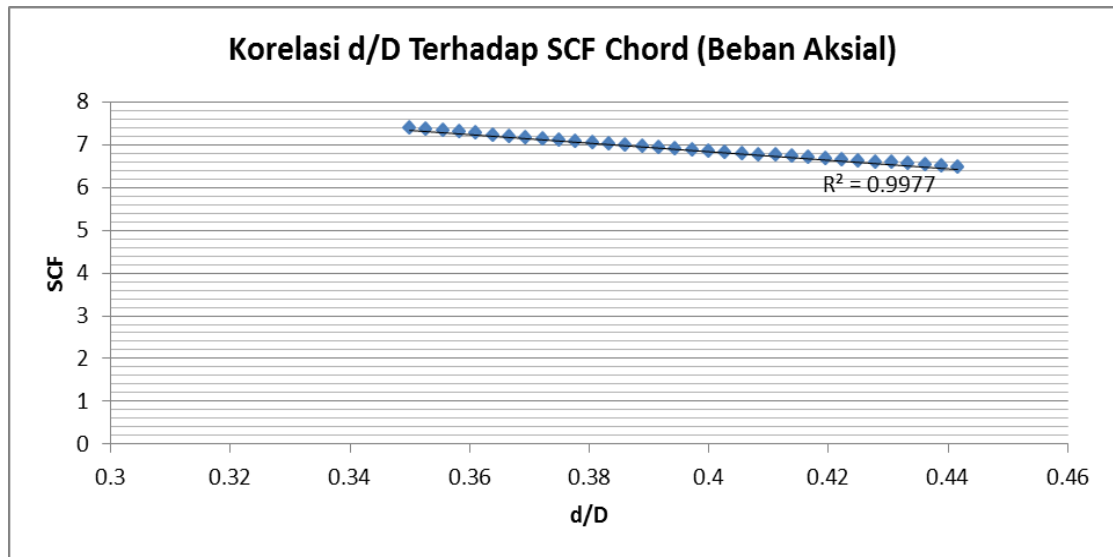
**LAMPIRAN D**  
**KORELASI PARAMETER**  
**NON-DIMENSIONAL TERHADAP SCF**

## D. Korelasi Parameter Non-dimensional Terhadap SCF

### D.1 Korelasi Parameter Non-dimensional Terhadap SCF Sisi Chord Akibat Beban Aksial:

- Parameter  $\beta$  (d/D)

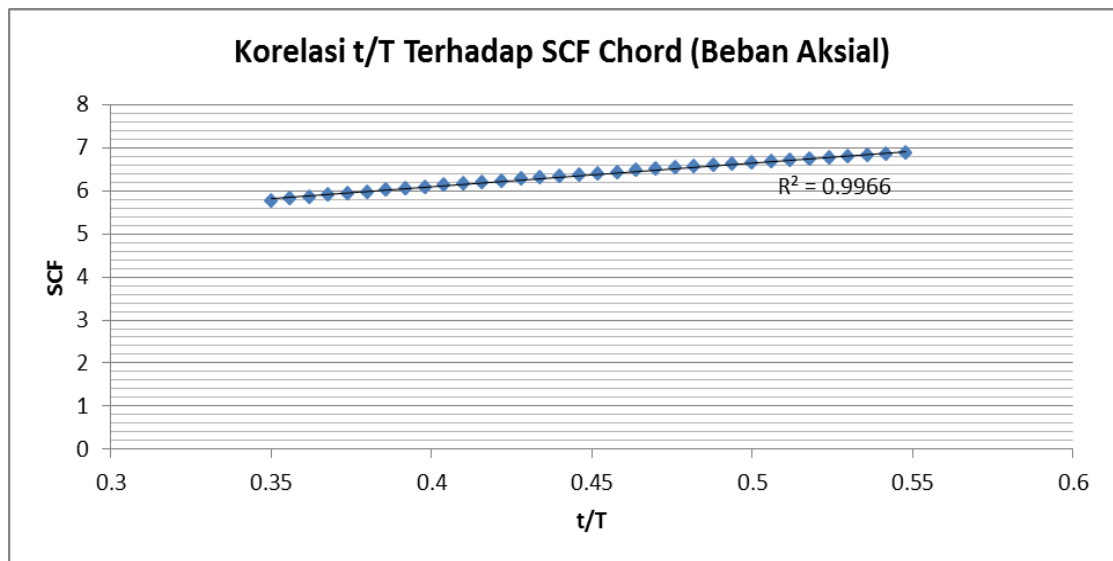
$$R^2 = 0,9977$$



Gambar D.1 Korelasi d/D Terhadap SCF Chord (Beban Aksial)

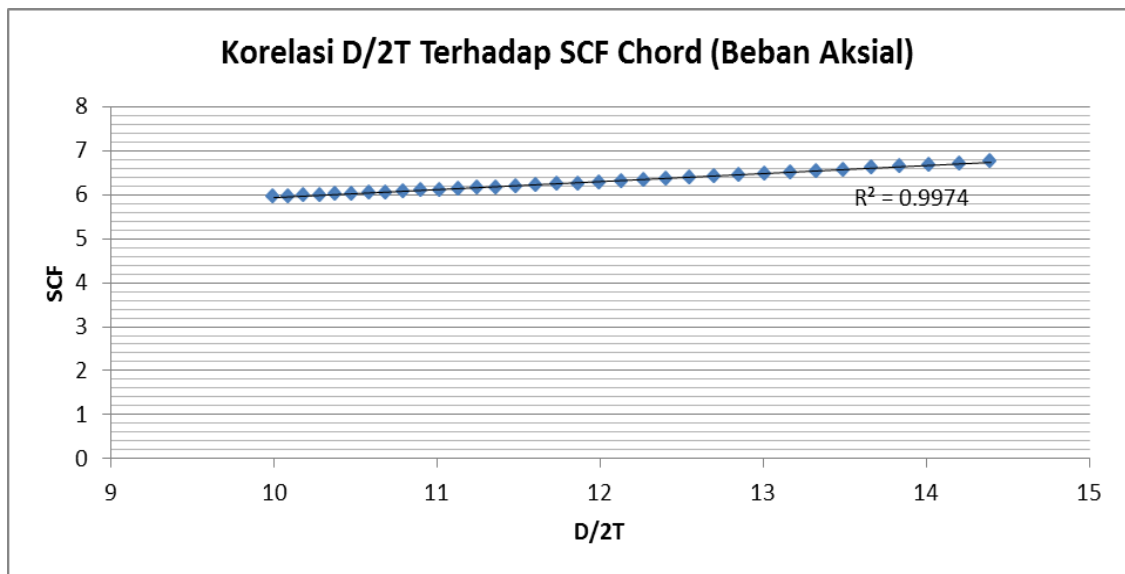
- Parameter  $\tau$  (t/T)

$$R^2 = 0,9966$$



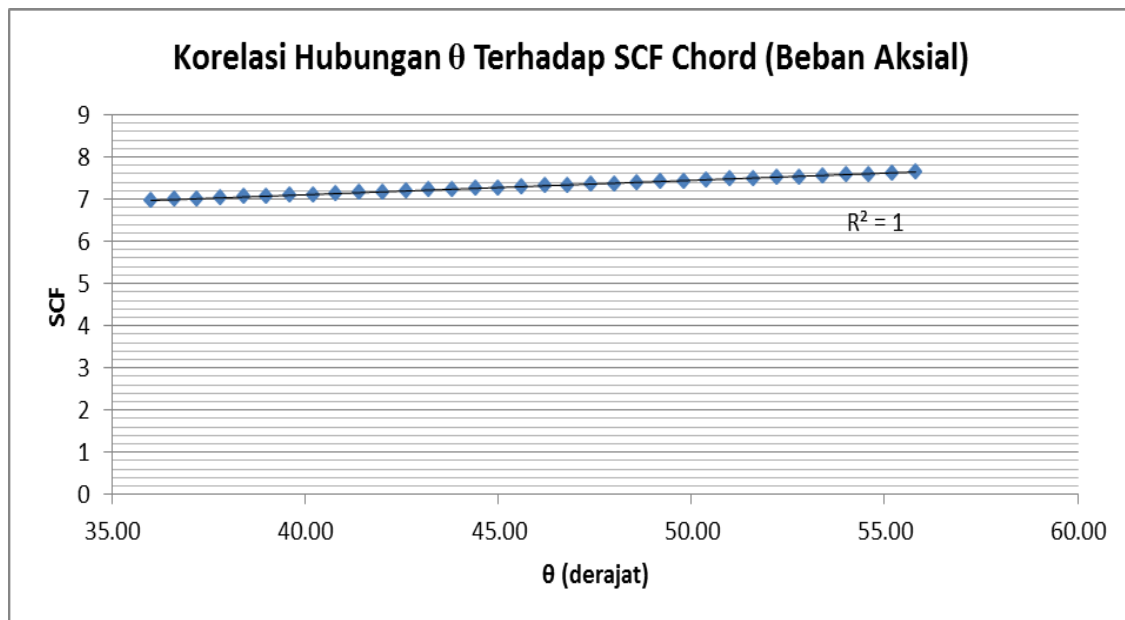
Gambar D.2 Korelasi t/T Terhadap SCF Chord (Beban Aksial)

- Parameter  $\gamma$  (D/2T)  
 $R^2 = 0,9974$



**Gambar D.3** Korelasi D/2T Terhadap SCF Chord (Beban Aksial)

- Parameter  $\theta$   
 $R^2 = 1$



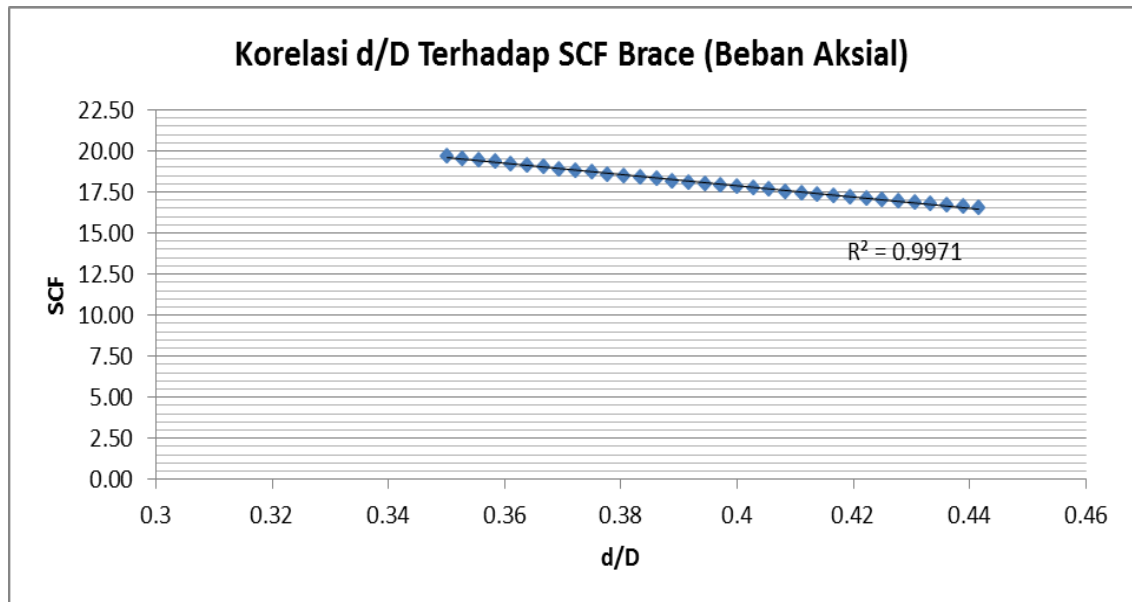
**Gambar D.4** Korelasi  $\theta$  Terhadap SCF Chord (Beban Aksial)



## D.2 Korelasi Parameter Non-dimensional Terhadap SCF Sisi Brace Akibat Beban Aksial:

- Parameter  $\beta$  (d/D)

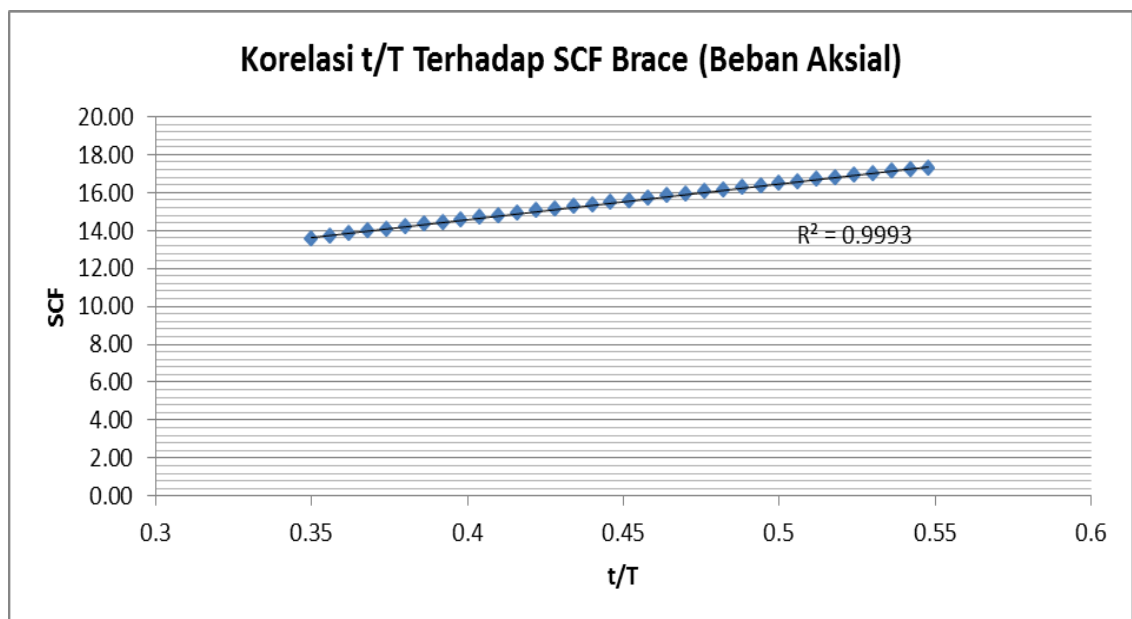
$$R^2 = 0,9971$$



Gambar D.5 Korelasi d/D Terhadap SCF Brace (Beban Aksial)

- Parameter  $\tau$  (t/T)

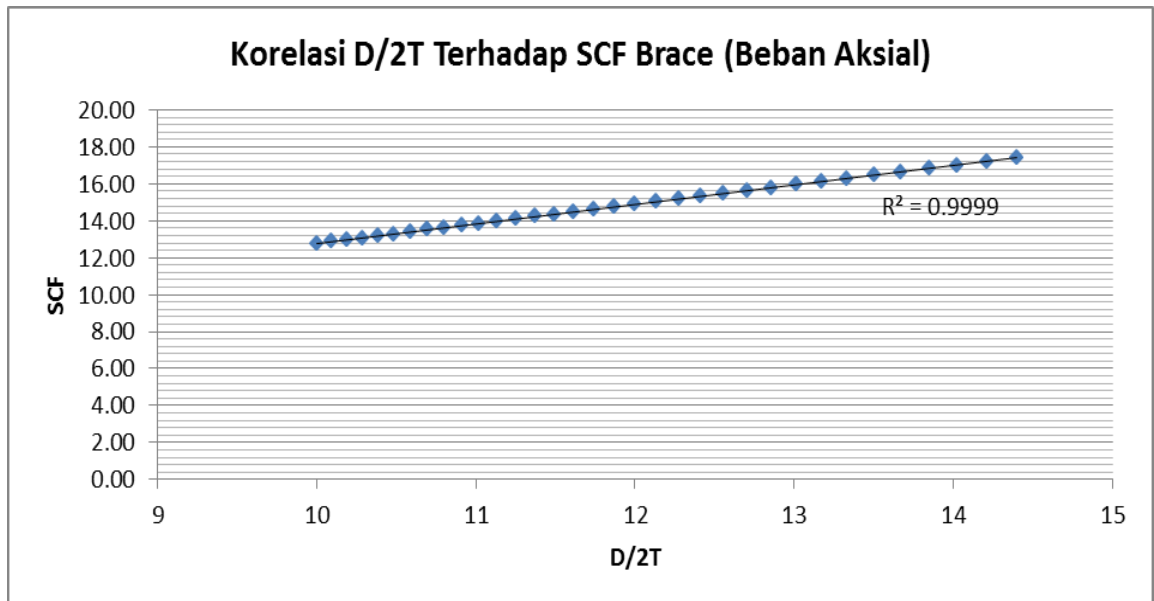
$$R^2 = 0,9993$$



Gambar D.6 Korelasi t/T Terhadap SCF Brace (Beban Aksial)

- Parameter  $\gamma$  (D/2T)

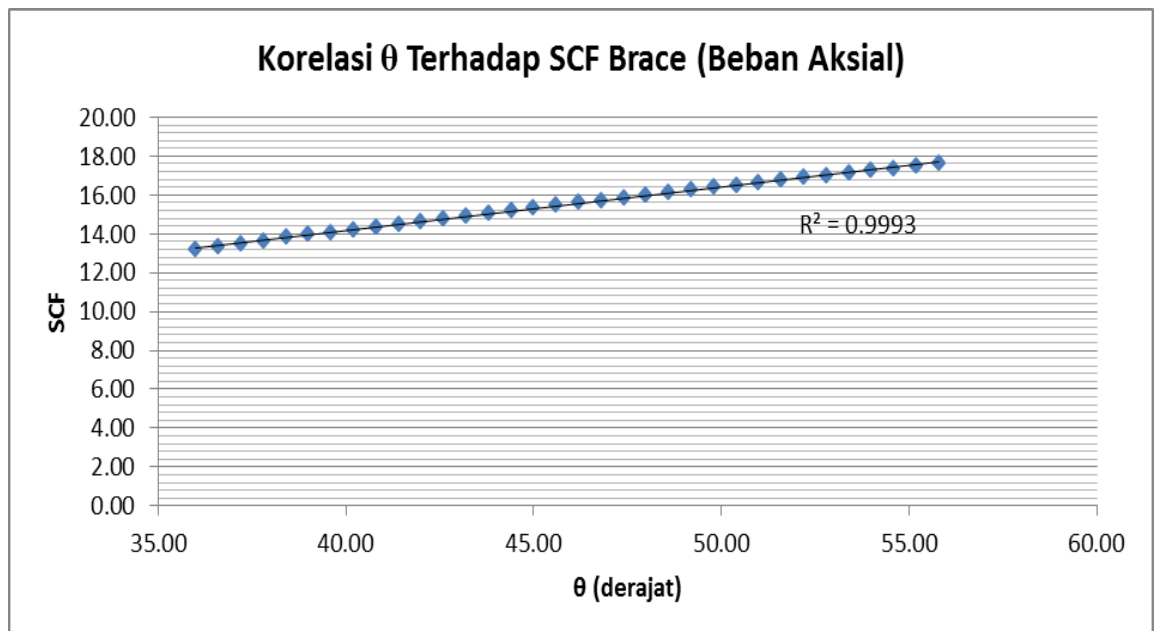
$$R^2 = 0,9999$$



**Gambar D.7** Korelasi D/2T Terhadap SCF Brace (Beban Aksial)

- Parameter  $\theta$

$$R^2 = 0,9993$$

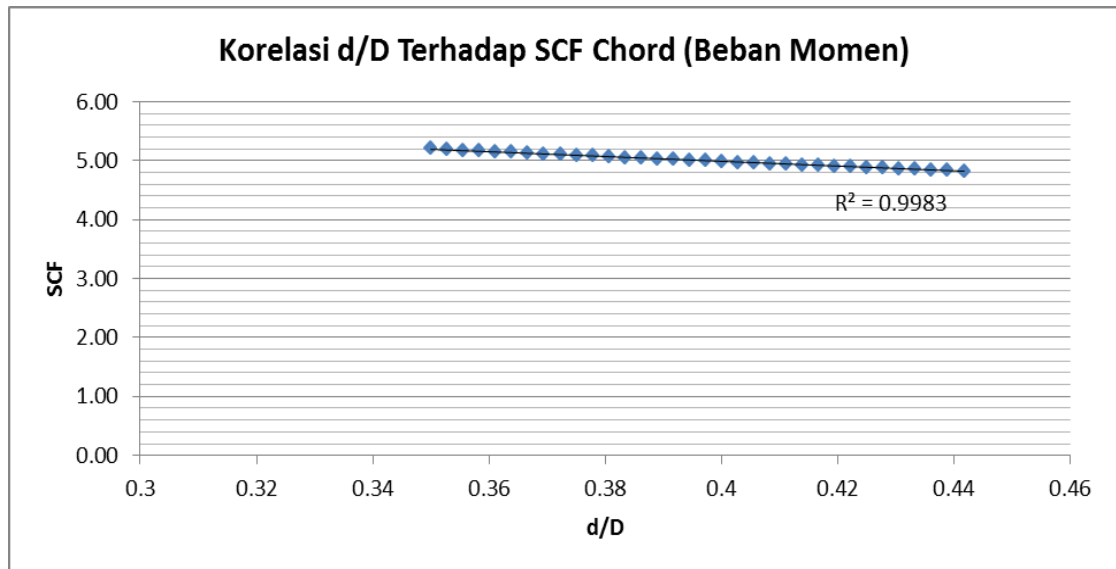


**Gambar D.8** Korelasi  $\theta$  Terhadap SCF Brace (Beban Aksial)

### D.3 Korelasi Parameter Non-dimensional Terhadap SCF Sisi Chord Akibat Beban Momen:

- Parameter  $\beta$  (d/D)

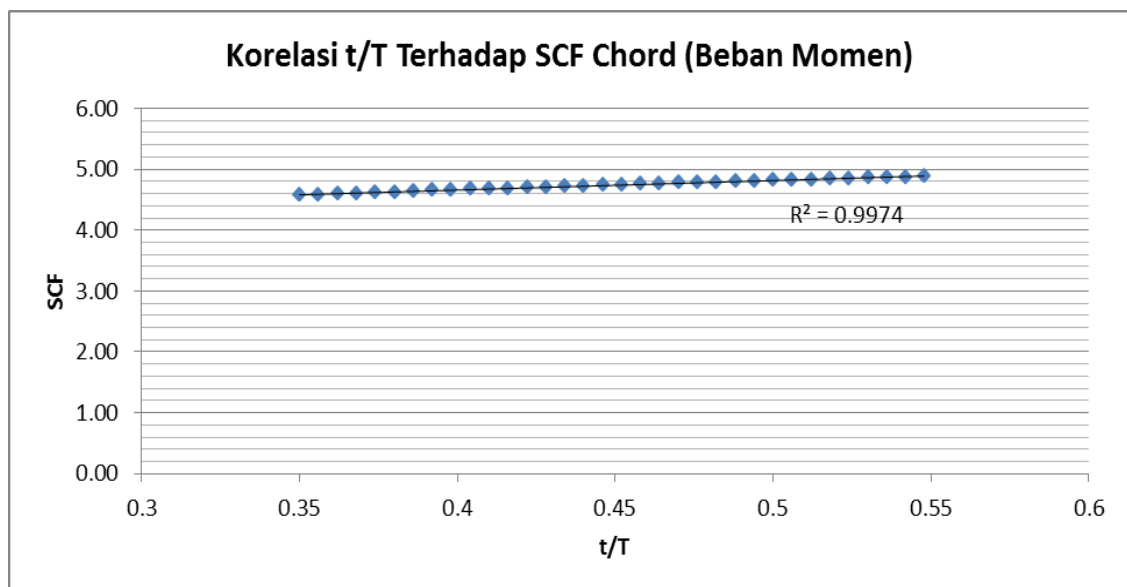
$$R^2 = 0,9983$$



Gambar D.9 Korelasi d/D Terhadap SCF Chord (Beban Momen)

- Parameter  $\tau$  (t/T)

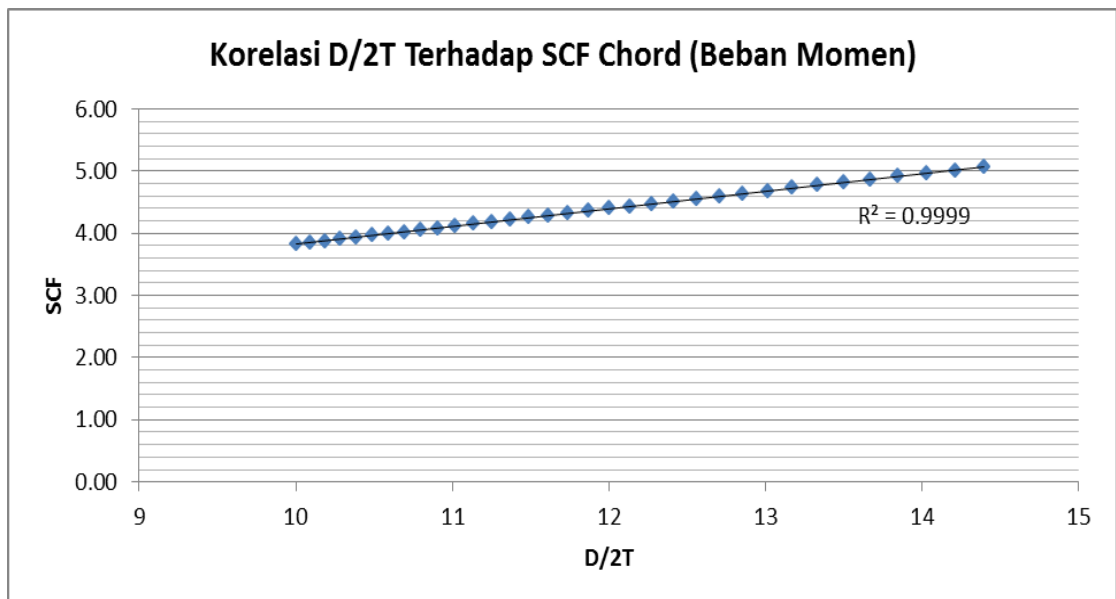
$$R^2 = 0,9974$$



Gambar D.10 Korelasi t/T Terhadap SCF Chord (Beban Momen)

- Parameter  $\gamma$  (D/2T)

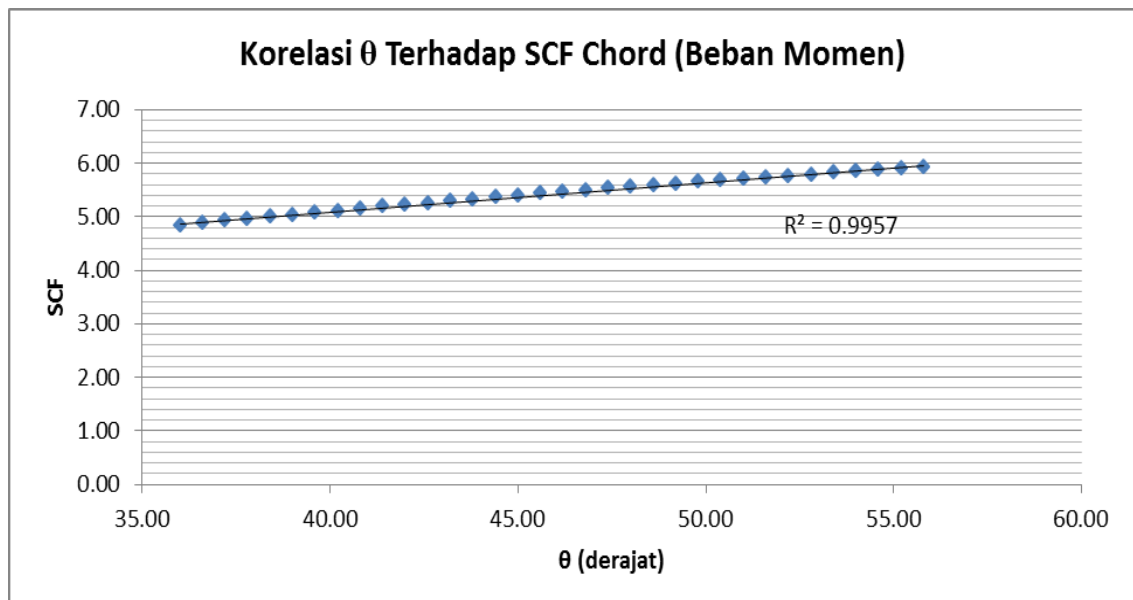
$$R^2 = 0,9999$$



**Gambar D.11** Korelasi D/2T Terhadap SCF Chord (Beban Momen)

- Parameter  $\theta$

$$R^2 = 0,9957$$

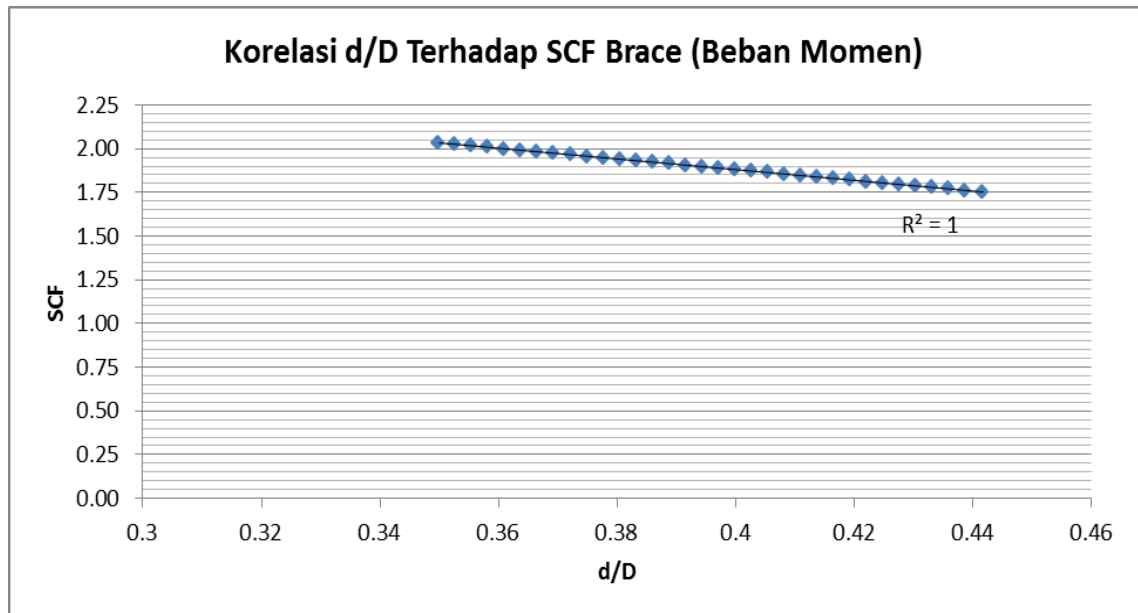


**Gambar D.12** Korelasi  $\theta$  Terhadap SCF Chord (Beban Momen)

#### D.4 Korelasi Parameter Non-dimensional Terhadap SCF Sisi Brace Akibat Beban Momen:

- Parameter  $\beta$  ( $d/D$ )

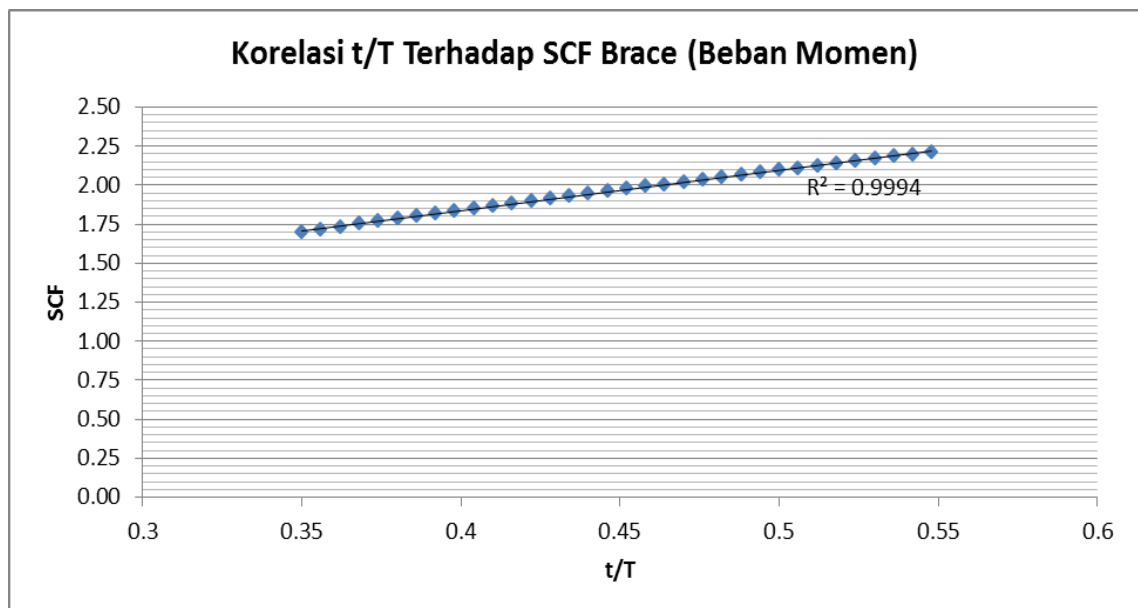
$$R^2 = 1$$



Gambar D.13 Korelasi  $d/D$  Terhadap SCF Brace (Beban Momen)

- Parameter  $\tau$  ( $t/T$ )

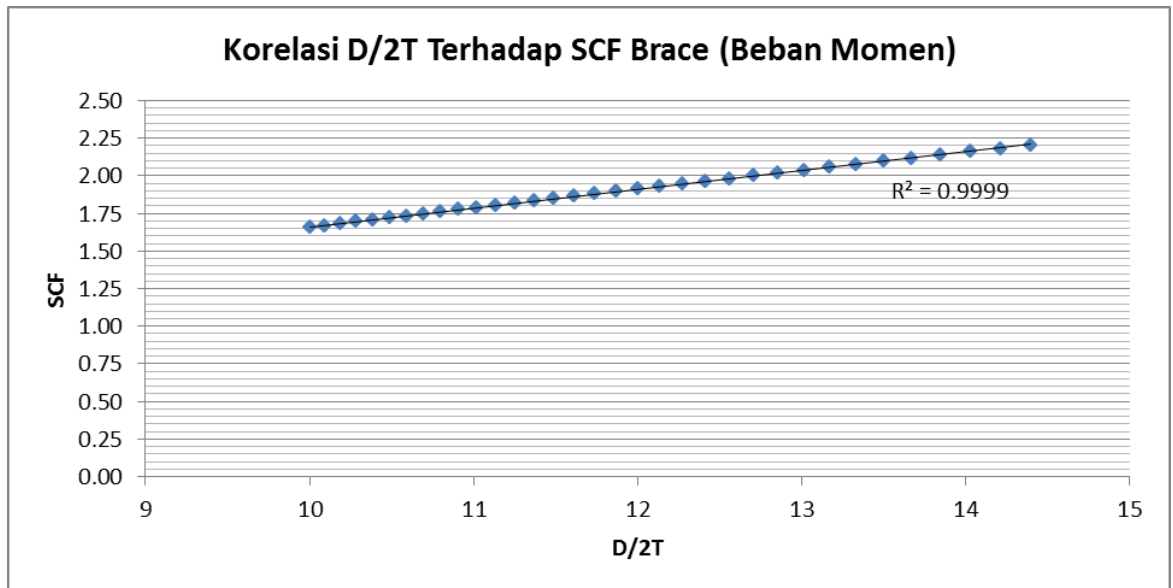
$$R^2 = 0,9994$$



Gambar D.14 Korelasi  $t/T$  Terhadap SCF Brace (Beban Momen)

- Parameter  $\gamma$  (D/2T)

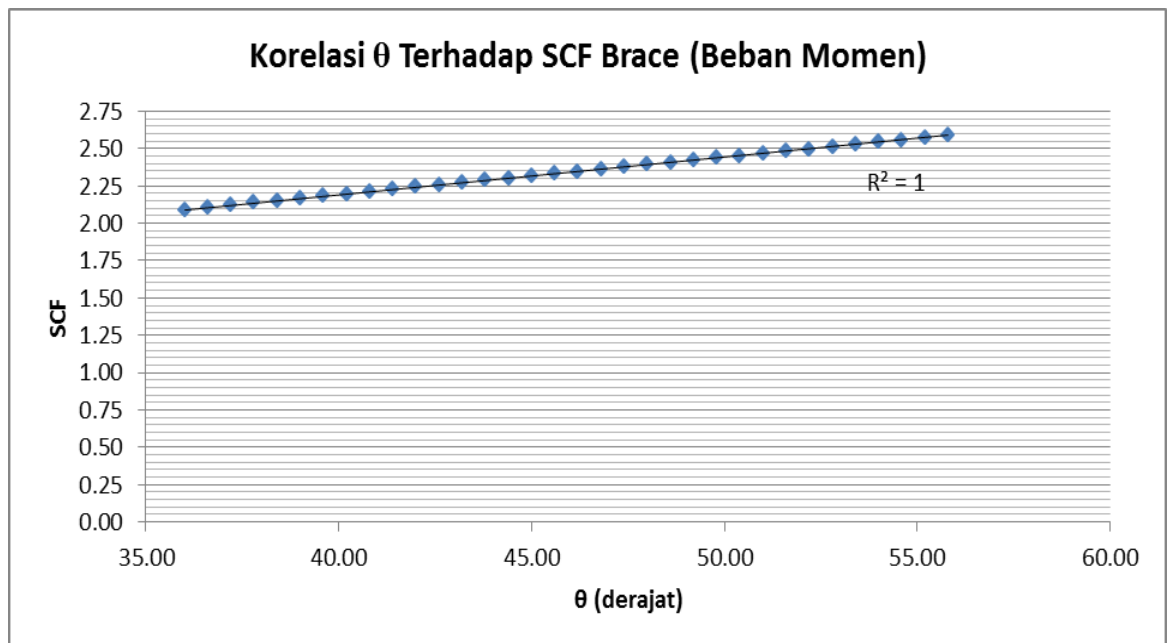
$$R^2 = 0,9999$$



**Gambar D.15** Korelasi D/2T Terhadap SCF Brace (Beban Momen)

- Parameter  $\theta$

$$R^2 = 1$$



**Gambar D.16** Korelasi  $\theta$  Terhadap SCF Brace (Beban Momen)

## **BIODATA PENULIS**

## BIODATA PENULIS



Ibnu Fasyin Fuadi lahir di Nganjuk pada tanggal 23 juli 1994, merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN Jegreg, SMP Negeri 1 Kertosono, dan SMA Negeri 1 Kertosono. Setelah lulus pada tahun 2013, penulis mengikuti program Seleksi Nasional Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri dan diterima di jurusan Teknik Kelautan FTK – ITS dan terdaftar dengan NRP. 4313100009. Selain kesibukan dalam kuliah penulis juga pernah mengikuti UKM Catur. Pada bulan Juni hingga Juli 2016, penulis berkesempatan Kerja Praktek di Balai Teknologi Hidrodinamika Surabaya, dimana penulis mendapat banyak pengetahuan tentang uji model fisik bangunan laut. Selain itu, penulis juga berkesempatan Kerja Praktek di PT Zee Engineering di BSD Tangerang Selatan pada bulan Agustus 2016, dimana penulis memperoleh banyak pengetahuan tentang dunia konsultan engineering, khususnya tentang struktur bangunan lepas pantai dan analisa elemen hingga. Dalam tugas akhir ini penulis mengambil bidang struktur bangunan lepas pantai, dengan kajian mengenai perumusan faktor konsentrasi tegangan sambungan *tubular multiplanar double KT* dengan metode elemen hingga.

### Kontak Penulis

*Email* : ibnufasyin@gmail.com

No. HP : 085854573858